

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

## Bakalářská práce

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium povrchové úpravy turbín pro malé vodní  
elektrárny

Study of the Surface Adjustment Turbines for Small  
Water Power Station

Student:

Ing. Bronislav Suchý

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Laník

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ing. Bronislav Suchý**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Studium povrchové úpravy turbín pro malé vodní elektrárny**  
**Study of the Surface Adjustment Turbines for Small Water Power Station**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor současného stavu povrchové úpravy turbín.
2. Na základě rozboru současného stavu navrhnete vhodnou povrchovou úpravu s ohledem na agresivitu korozního prostředí.
3. Navrhnete metodiku experimentálních prací.
4. Proved'te experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu minimálně 25 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.


ČSN EN ISO 12 944. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Laník**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2012



.....

podpis studenta



### **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. května 2012



.....  
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ing. Bronislav Suchý

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Revoluční 30, 787 01 Šumperk

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SUCHÝ, B. *Studium povrchové úpravy turbín pro malé vodní elektrárny : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 54 s. Vedoucí práce: Laník, T.

Bakalářská práce se zabývá rozbořem a testováním povrchových systémů pro turbíny malých vodních elektráren. Cílem je vybrat vhodný nátěrový systém pro ošetření jejich povrchu. V prvních kapitolách je popsána problematika kavitace a koroze u těchto zařízení. Následuje srovnání dostupných technologií ochrany a návrh postupů pro zvýšení korozivní odolnosti, životnosti a přilnavosti nátěrových systémů. V experimentální části jsou testovány ochranné vlastnosti tří typů nátěrů nanášených štětcem, a to nátěrového systému Tikkurila, NORMASTIC 405 a Belzona 1341. Konkrétně jsou aplikovány metody vizuální kontrola materiálu, kontrola čistoty povrchu, stanovení tloušťky povlaků, zkoušky přilnavosti a stanovení míry defektů a puchýřků na nátěrovém systému. Jednotlivé testy jsou vyhodnoceny. Výsledkem je porovnání testovaných vzorků nátěrových systémů z hlediska požadovaných vlastností.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SUCHÝ, B. *Study of the Surface Adjustment Turbines for Small Water Power Station : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 54 p. Thesis head: Laník, T.

The bachelor thesis deals with analysis and testing of surface coating systems for small hydro-power plants. The aim is to find a suitable system for treatment of turbine surface. In the first chapters problem of cavitations and corrosion in these devices is described. The following part compares protective properties of available protection technologies and suggests procedures to improve corrosion resistance, life time and adhesion of coating systems. In the experimental part protective properties of three brush-applied coating systems are tested. Specifically, Tikkurila, NORMASTIC 405 a Belzona 1341. Following research methods are used: visual control of material, control of clearness of the surface, measuring of coating thickness, adhesion tests and measuring of rate of defects and blisters on a treated surface. The tests are evaluated and the result is comparison of the tested samples of coating systems in terms of required properties

# Obsah

Zadání bakalářské práce	2
přísežné prohlášení studenta	3
Obsah	6
Seznam použitých symbolů a značek	8
Úvod	10
1 Využívání vodní síly	11
1.1 Vodní energie a její zdroje	11
1.2 Vodní elektrárny	11
1.2.1 podle systému soustředění vodní energie	11
1.2.2 MVE podle dosažitelného výkonu	12
1.2.3 MVE podle velikosti spádu	12
1.3 Vodní turbíny	12
1.4 Kavitace	14
1.5 Účinky kavitace	15
1.6 Prevence a ochrana zařízení proti kavitaci.	16
1.7 Volba materiálů	17
2 Koroze kovů	18
3 Nátěrové hmoty a povlaky	19
3.1 Nátěrové hmoty a nátěry	19
3.2 Typy nátěrových systémů	20
3.3 Složení nátěrových hmot	20
3.4 Aplikace nátěrových hmot	21
4 Předúpravy povrchu před aplikací nátěrového systému	22
5 Návrh experimentálních metod	24
5.1 Vizuální kontrola materiálů	24
5.2 Čistota povrchu	24
5.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287	24
5.4 Stanovení tloušťky jednotlivých povlaků (pro nátěry)	24
5.5 Odtrhová zkouška přilnavosti.	24
5.6 Zkoušení odolnosti nátěrových systémů křížovým řezem	24
5.7 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru podle ČSN 67 3087. [23]	24

5.7.1	Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2. [24]	24
5.7.2	Hodnocení degradace nátěrů a stupně prerezávání ČSN EN ISO 4628-3 [25]	24
5.7.3	Stanovení delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8. [26]	24
6	Popis jednotlivých zkoušek	25
6.1	Vizuální kontrola materiálu	25
6.2	Čistota povrchu	25
6.3	Měření drsnosti podkladového materiálu	26
6.4	Stanovení tloušťky jednotlivých povlaků pro nátěry	26
6.4.1	Stanovení tloušťky mokrého filmu	27
6.4.2	Stanovení tloušťky suché vrstvy	27
6.5	Odtrhová zkouška přilnavosti.	28
6.6	Zkoušení odolnosti nátěrových systémů křížovým řezem	30
6.7	Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru	30
7	Charakteristika vstupních materiálů.	31
7.1	Podkladový materiál	31
7.2	Nátěrový systém Tikkurila	31
7.2.1	TEMACOAT GPL-S PRIMER	31
7.2.2	TEMACOAT RM 40	32
7.3	Nátěrový systém NORMASTIC 405.	33
7.4	Nátěrový systém Belzona 1341	34
8	Vyhodnocení, výsledky experimentálních prací	36
8.1	Označení a charakteristika vzorků	36
8.2	Vizuální kontrola materiálu	36
8.3	Čistota povrchu	37
8.4	drsnost povrchu	37
8.5	Zkoušení odolnosti nátěrových systémů křížovým řezem	39
8.6	Stanovení tloušťky jednotlivých povlaků	39
8.7	Odtrhová zkouška přilnavosti.	42
8.8	Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru	45
	Závěr	47
	Seznam obrázků	51
	Seznam tabulek	52
	Poděkování	53
	Seznam příloh	54

## Seznam použitých symbolů a značek

Symbol	Název, vysvětlení	Jednotka
A	kohezní lom v podkladu	[%]
A/B	adhezní lom mezi podkladem a nátěrem	[%]
B	kohezní lom prvního nátěru	[%]
B/C	adhezní lom mezi prvním a druhým nátěrem	[%]
B/Y	adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem	[%]
C	kohezní lom druhého nátěru	[%]
ČSN	česká státní norma	[-]
DFT	tloušťka suchého nátěrového filmu	[ $\mu\text{m}$ ]
EN	evropská norma	[-]
F	odtrhová síla	[N]
GPS	geometrické požadavky na výrobky	[-]
H	spád elektrárny	[m]
HS	hydraulický stroj	[-]
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peroxid vodíku	[-]
ISO	International Organization for Standardization	[-]
Max.	největší	[-]
Min	nejmenší	[-]
MVE	malá vodní elektrárna	[-]
MW	megawatt	[-]
NaCl	chlorid sodný	[-]
OK	oběžné kolo turbíny	[-]
Q	průtok vody	[ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]
R <sub>a</sub>	střední aritmetická úchylka profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
R <sub>p</sub>	největší výška výstupků profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
R <sub>q</sub>	průměrná kvadratická úchylka profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
R <sub>sk</sub>	šikmost posuzovaného profilu	[-]
R <sub>ku</sub>	špičatost posuzovaného profilu	[-]
R <sub>v</sub>	největší hloubka výstupků profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
R <sub>z</sub>	výška nerovnosti profilu z deseti bodů	[ $\mu\text{m}$ ]

Re	nejmenší mez kluzu	[MPa]
RK	rozváděcí kolo turbíny	[-]
Rm	pevnost v tahu	[MPa]
RS232	sériové komunikační rozhraní	[-]
R <sub>z</sub>	největší výška profilu	[μm]
Sa	stupeň přípravy povrchu	[-]
TOC	organický uhlík	[-]
VE	vodní elektrárna	[-]
VOC	těkavé organické sloučeniny	[-]
WFT	tloušťka mokrého nátěrového filmu	[μm]
Y/Z	adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem	[%]
-/Y	kohezní lom v lepidle	[%]
ZPZ	Zrychlená ponorová zkouška odolnosti materiálu	[-]
d	je průměr zkušebního válečku	[mm]
dm <sup>3</sup>	decimetr krychlový	[10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> ]
h	hodina	[3600 s]
hm.	hmotnostní	[-]
kW	kilowatt	[-]
l	litr	[10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> ]
pH	koncentrace roztoku	[-]
t	tloušťka vrstvy nátěru	[μm]
t	teplota	[°C]
φ	vlhkost	[%]
α	úhel řezu řezného nástroje	[rad]
σ	odtrhová pevnost, napětí v tahu	[MPa]
σ <sub>Dt</sub>	maximální dovolené napětí v tahu	[MPa]
d	průměr zkušebního válečku	[mm]
π	materiálová konstanta	[-]
μm	mikrometr	[10 <sup>-6</sup> m]
%	procento	[10 <sup>-2</sup> ]
Ø	průměr	[-]

## Úvod

V důsledku výrazného růstu cen energetických surovin a zvyšování významu ekologie začaly vyspělé země měnit svou energetickou politiku směrem k maximálnímu využívání vlastních zdrojů energie, ekologicky čistých a obnovitelných primárních zdrojů energie. Významné místo mezi nimi vždy zaujímaly vodní elektrárny, umožňující s velkou účinností měnit hydroenergetický potenciál toků v elektrickou energii bez negativních dopadů na okolní prostředí. Zeměpisná poloha České republiky je taková, že velké řeky u nás většinou pouze pramení, a tak značná část vodní energie je rozptýlena v malých tocích. Vodní energie je doplňkovým, nicméně kvalitativně velmi cenným a čistým zdrojem elektrické energie. Zahrnuje zdroje elektrické energie od těch nejmenších kapacit o výkonech necelých 20 kW, až po říční elektrárny o výkonech 20 MW.

Nejdůležitější částí vodní elektrárny je vodní turbína s alternátorem, kde se mechanická energie vody mění na energii elektrickou. Jedná se o srdce elektrárny, jehož dlouhodobé bezporuchové fungování ovlivní celou elektrárnu. Životnost vodní elektrárny je počítána minimálně na 100 let, proto je i životnost vodních turbín důležitá. Vodní turbíny jsou provozovány v agresivním vlhkém prostředí **Obr. 0-1**. Proto výrobci i provozovatelé vodních turbín musí jejich povrchové úpravě dávat náležitý význam. Moje bakalářská práce se zabývá právě povrchovou úpravou vodních turbín.



**Obr. 0-1** Komora oběžného kola turbíny po nátěru a po

Bakalářská práce se v experimentální části zaměřuje na testování vybraných nátěrových systémů, které jsou vhodné pro použití k ochraně povrchu vodních turbín pro malé vodní elektrárny.

# 1 Využívání vodní síly

## 1.1 Vodní energie a její zdroje

Voda v přírodě může být nositelem mechanické, chemické a tepelné energie. Stále se obnovujícím zdrojem energie je energie vodní daná koloběhem vody v přírodě. U tekoucí vody se v největší míře využívá její polohová (potenciální) a pohybová (kinetická) energie. Voda stéká z hor a cestou uvolňuje svou nashromážděnou energii. Po jejím vyčerpání se vrací do moří, kde je polohová energie nižší. Nejdůležitější formou je mechanická energie vod, která zahrnuje energii atmosférických srážek, ledovců, moří a toků řek. Prakticky se využívá mechanická energie vodních toků (tzv. bílé uhlí), energie moří ve formě vlnění (tzv. fialové uhlí) a ve formě přílivu a odlivu (tzv. modré uhlí). Energie mořských vln je obrovská, i její když praktické využití je problematické, protože příčinou vlnění je vítr, energie vln se vyznačuje velkou nepravidelností a nestálostí. V současnosti se vodní síla využívá k výrobě elektrické energie ve vodních elektrárnách.

## 1.2 Vodní elektrárny

Obecně můžeme MVE dělit podle systému soustředění vodní energie (průtoku a spádu), podle dosažitelného výkonu, podle jednotkového výkonu soustrojí, podle velikosti spádu, podle způsobu zapojení

### 1.2.1 podle systému soustředění vodní energie

podle systému soustředění vodní energie dělíme MVE na:

- přehradní a jezové, které využívají vzdouvacího zařízení (jez, přehrada),
- derivační, které odvádí vodu z původního koryta přivaděčem a opět ji přivádí do koryta,
- přehradně derivační, kde je vzdouvacím zařízením přehrada, která soustřeďuje spád i průtok, voda je přivaděčem vedena k turbínám,
- přečerpávací, která má horní a dolní nádrž. V době nedostatku elektrické energie je voda pouštěna z horní nádrže do spodní a dodává elektrickou energii do rozvodné sítě. V době přebytku elektrické energie přečerpává zpět vodu z dolní nádrže do horní, k tomu využívá elektrickou energii odebranou ze sítě. [1]



### 1.2.2 MVE podle dosažitelného výkonu

Rozdělení MVE podle dosažitelného výkonu je uvedeno v tabulce **Tab. 1** **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**dle ČSN 750128. [2]

Kategorie MVE	výkon MVE (kW)
I a	nad 1000
I b	nad 500 do 1000
II	nad 100 do 500
III	nad 35 do 100
IV	do 35

*Tab. 1 MVE podle dosažitelného výkonu [2]*

### 1.2.3 MVE podle velikosti spádu

Rozdělení malých vodních elektráren podle velikosti užitečného spádu je uvedeno v tabulce **Tab. 2**.

Třída	Velikost spádu (m)
Nízkotlaké	do 20
Středotlaké	nad 20 do 100
Vysokotlaké	nad 100

*Tab. 2 MVE podle velikosti spádu [1]*

Práce se zabývá povrchovými úpravami turbín pro vodní elektrárny do velikosti malé vodní elektrárny, t.j.do výkonu 10 MW.

## 1.3 Vodní turbíny

Nejstaršími hydraulickými stroji jsou vodní kola, která byla využívána jako stroje pracovní k dopravě vody a později i jako stroje energetické k pohonu jiných strojů, např. ve mlýnech **Obr. 1-1**, pilách, hamrech. Podle neurčitých pramenů bylo vodní lopatkové kolo vynalezeno Ctébiem již r. 135 před Kristem.



**Obr. 1-1** Železnorudné mlýny [3]

Na počátku křesťanské éry se začalo používat vodní kolo k pohonu mlýnů, nejdříve v blízkém Orientu. V letech 260-300 po Kr. se setkáváme již s úplným velkomlýnem ve Francii u Arles, který využíval spádu 18m ve dvou paralelních kanálech s celkovým počtem osmnácti vodními koly. [4] Podnět k vývoji výkonnějších rotačních lopatkových strojů dal Ján Andrej Segner (1704-1783) rodák z Bratislavy, pozdější profesor Univerzity v Göttingen. Segnerova kola se používalo jako vodního motoru. [5] Rozvoj dynamiky ideální kapaliny byl dovršen po r. 1750 zásluhou Leonarda Eulera (švýcarského původu, 1707-1783) a také Daniela Bernoulliho (holandského původu, 1700-1782), kteří působili v Petrohradě jako členové Ruské akademie věd, kde položili teoretické základy pro stavbu HS (vodních turbín a čerpadel). Vodní turbíny byly uvedeny do praxe začátkem 19. století, kdy je realizovali Francouzi Bourdin a Fourneyron, který zkonstruoval a uvedl v r. 1835 do provozu první centrifugální odstředivou turbínu. [6] Tato turbína pracovala plných třicet let až do roku 1865. Z později vyvinutých energetických strojů je možné jmenovat vodní turbíny pro střední a vysoké spády Američanů J. B. Francise (v r. 1849) a L. A. Peltona (v r. 1880) a také profesora vysoké školy technické v Brně Victora Kaplana (v r. 1919), který patentoval axiální přetlakovou turbínu pro nízké spády a vyšší průtoky. [7]

Vodní turbíny jsou poháněny pohybovou energií vody, přiváděné k turbíně přiváděčem, kterým může být kanál s volnou hladinou nebo potrubí. V prvním případě ústí přiváděč do kašny s volnou hladinou, ve které je umístěna vlastní turbína. Ve druhém

případě potrubní přivaděč ústí do tlakové skříně turbíny různých tvarů Obr. 1-2. Voda potom proudí z pevných kanálů lopatek rozvaděče přes natáčivé lopatky rozváděcího kola k lopatkám oběžného kola. Potom odchází voda většinou do sací trouby a z ní do odpadního kanálu s volnou hladinou. Potrubní přivaděč u rovnotlakých vodních turbín ústí v dýze nebo v okružním potrubí s více dýzami (2 až 6), ze kterých vodní paprsek v atmosférickém prostředí tryská na lopatky oběžného kola a volně odpadá ke spodní hladině.



*Obr. 1-2 Montáž peltonovy turbíny nové alpské MVE v Rakousku*

#### **1.4 Kavitace**

Při obtékání těles kapalinou vznikají za určitého stavu kapaliny, například tlaku a teplotě, malé prostory (kavitační bubliny) naplněné parami kapaliny nebo plynem. Tento jev je nazýván kavitace. Kavitace nastává při dosažení určitých podmínek a to při odpovídajícím tlaku a teplotě v daném místě rotujícího průtočného kanálu mezi lopatkami OK. Kavitačním tlakem je tlak blízký tlaku nasycených par při odpovídající teplotě a závisí také na obsahu plynu v kapalině, na druhu, tvaru, velikosti a počtu kavitačních jader a na době jejich výskytu v kritické oblasti. Vzniká například na lopatkách lodních šroubů, vodních turbín na čerpadlech a dalších zařízeních, která se velkou rychlostí pohybují v kapalině.

Kavitační jádro je tvořeno většinou plynnou mikrobublinou nebo pevnou částicí (nečistotou) v proudící kapalině, které usnadňují vznik kavitace. Při poklesu na tlak kavitační a následném zvýšení tlaku, dojde k zániku (k tzv. implozi) kavitační bubliny. Dojde-li k zániku této bubliny na povrchu materiálu nebo v jeho blízkosti, dochází k intenzivnímu kavitačnímu působení na materiál. Může také dojít ke kmitání (oscilaci) kavitačních bublin, při které se bubliny několikrát zmenší či zvětší nebo několikrát vzniknou a zaniknou. [8]

### 1.5 Účinky kavitace

Velikost opotřebení je závislá na rozměrech stroje, jeho hydraulických vlastnostech (kavitačních poměrech), instalované sací výšce, materiálu především OK a kuželové části sací trouby, kvalitě opracování povrchu obtékaných částí i na fyzikálních vlastnostech vody (agresivnost, obsah písku aj.).

Mechanické účinky kavitace na materiál jsou vyvolány rázy při zániku kavitačních bublin, které působí na velmi malé plošky, srovnatelné s velikostí jednotlivých strukturních složek daného kovového materiálu. Mechanické účinky jsou rozhodujícím účinkem kavitace a projevují se pružnými a trvalými deformacemi, vnitřní napjatostí, vznikem mikrotrhlinek a únavou materiálu Obr. 1-3.



*Obr. 1-3 Oběžné kolo poškozené kavitací [9]*

Vedlejší účinky kavitace jsou: účinky korozivní, tj. napadení chemickým nebo elektrochemickým působením prostředí (kapaliny) na materiál při kavitačních podmínkách; účinky elektrické, vyvolané v oblasti imploze v důsledku potenciálního spádu na hranicích různých strukturních míst o různé okamžité napjatosti či teplotě; dále účinky tepelné, tzn. při místním (lokálním) ohřevu povrchové vrstvy vlivem deformační práce a kompresním teplem stlačovaného plynu v kapalině, což vyvolává pnutí z tepelné dilatace.

Průvodní jevy kavitace zahrnují: akustické jevy, způsobující charakteristický kavitační hluk, vyvolaný hlavně implozemi kavitačních bublin, přičemž při změně provozního režimu stroje mimo optimální bod dochází i k výrazné změně hladiny akustického tlaku; kavitační vibrace, které jsou vyvolány pulsujícími silovými účinky implodujících dutin a nestabilitou kavitační oblasti; dále je to luminiscence (světélkování), vznikající při zániku kavitačních bublin, kdy zbylý plyn je krátkodobě avšak velmi intenzivně stlačen, přičemž teplota vystoupí na vysokou hodnotu; kromě toho může dojít i k elektrickým výbojům mezi ionty látek rozpuštěných v kapalině nebo k rázu plynových molekul. [10]

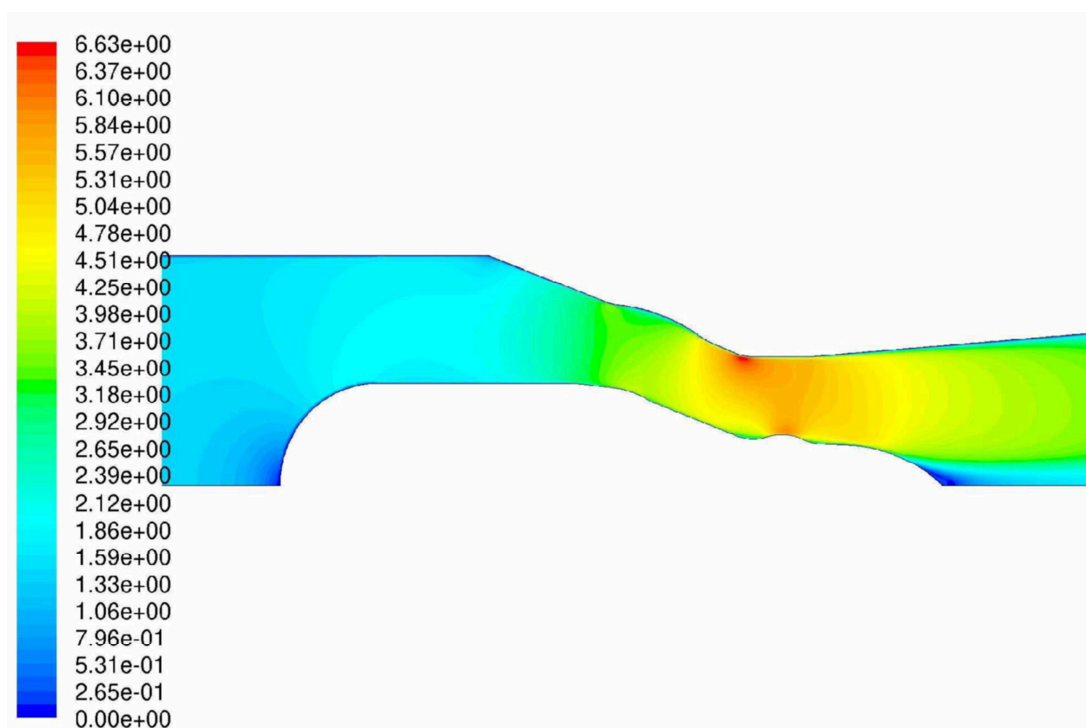
## **1.6 Prevence a ochrana zařízení proti kavitaci.**

Prevence proti kavitaci zahrnuje prevenci projekční, konstrukční a provozní. Prevence projekční spočívá ve stanovení takových parametrů hydro-energetického díla, aby kavitační poměry byly v přijatelných mezích. Na základě specifikované hodnoty kavitačního parametru se výpočtem určí instalovaná sací výška. Snížením skutečné sací výšky nadlepšujeme kavitační poměry při provozu stroje, ale zvyšujeme investiční náklady v důsledku hlubšího zakopání díla.

Prevence konstrukční spočívá v návrhu vhodného tvaru průtočných kanálů turbíny, které jsou méně citlivé na vznik a vývin kavitace, což souvisí s dlouhodobou praxí jednotlivých výrobců vodních turbín.

Konstrukční ochrana zařízení proti účinkům kavitace také zahrnuje: ochranu technologickou, která spočívá v použití vhodného odolnějšího materiálu exponovaných částí turbíny nebo nanesením vhodné ochranné vrstvy (např. nátěrem, nástřikem nebo návarem); ochranu katodickou, která spočívá v katodické polarizaci napadené plochy přídavným elektrickým proudem; ochranu zavzdušněním, která spočívá v řízeném připouštění určitého množství vzduchu (atmosférického tlaku) do kavitační oblasti, a tím

dochází ke zvýšení tlaku bezpečně nad hodnotu kavitačního tlaku (nad tlak nasycených par).



*Obr. 1-4 Kontury rychlosti vody v komoře oběžného kola přímoproudé Kaplanovy turbíny simulované v programu Fluent*

## 1.7 Volba materiálů

Volba vhodných materiálů exponovaných částí pro možný provoz při kavitačních poměrech patří do kategorie technologické ochrany zařízení a k ochraně hydraulického profilu turbíny (průtočných částí), především lopatek OK a RK, komory OK Obr. 1-4 Kontury rychlosti vody v komoře oběžného kola přímoproudé Kaplanovy turbíny simulované v programu Fluent, kovové spirály, sací trouby, dýzy a jehly.

Nejmenší odolnost z kovových složek železných materiálů má ferit, a naopak největší odolnost má martenzit s velmi dlouhou inkubační dobou.

Na exponované části vodních turbín se u nás i v zahraničí používá ocel s obsahem chromu (13 % Cr), která po zakalení má martenzitickou strukturu. Nevýhodou je, že tyto materiály jsou křehké a nevhodné pro svařování. [11]



## 2 Koroze kovů

Korozi kovů definujeme jako znehodnocení materiálu, které je způsobené fyzikálním nebo chemickým působením prostředí. Jedná se o souhrn fyzikálně-chemických dějů, jejichž konečným výsledkem je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Korozi podléhají téměř všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale také keramika, plastické hmoty, sklovité, silikátové a jiné materiály. [12]

Během své životnosti je většina kovových, ale i nekovových materiálů vystavována stále většímu mechanickému i chemickému namáhání, které způsobuje jejich předčasné znehodnocování. Značný podíl na tomto stárnutí má právě koroze **Obr. 2-1**. Koroze materiálu má vedle estetických změn také za následek značné ekonomické ztráty. [13]

Na výši korozních ztrát má vliv především technická úroveň chemického, energetického a strojírenského průmyslu i úroveň stavebnictví a jejich růst.



**Obr. 2-1** Koroze oběžného kola Kaplanovy vodní turbíny z roku 1943

Korozním poškozením materiálu se obecně rozumí korozní projev, který se pokládá za škodlivý pro funkci kovu, prostředí nebo technického systému, jehož jsou kov a prostředí složkami. Klasifikace korozního prostředí je dána stupněm korozní agresivity a je rozdělena do pěti skupin označených C1 až C5 v normě ČSN EN ISO 12944-2. [14]

### 3 Nátěrové hmoty a povlaky

Nejvíce užívaným způsobem ochrany proti korozním vlivům je v současné době aplikace organických povlaků na bázi nátěrových hmot a plastů. [15] Použití nátěrových hmot je nejběžnějším a ekonomicky nejvýhodnějším způsobem ochrany výrobků před korozi. Antikorozní pigmenty a inhibitory koroze zneškodňují agresivní složky, které difundují vrstvou nátěrů k povrchu kovu. Tím zpomalují, případně zastavují průběh koroze. Čili nátěry zabraňují přístupu vody a agresivních složek k povrchu chráněného kovu. Avšak nikdy nejsou úplně bez porů.

Významným aktuálním problémem je náhrada klasických antikorozních pigmentů na bázi olova a chromanů za netoxické a ekologické pigmenty.

Z experimentálních poznatků lze vysledovat, že pouhá bariérová ochrana pigmentovaných i nepigmentovaných povlaků bariérovými pigmenty nepostačuje k dosažení vysoké ochranné účinnosti a to platí především pro korozní ochranu kovů v korozně agresivním prostředí. Použití organických inhibitorů koroze rovněž v praxi naráží na úskalí, která lze jen velmi těžko řešit, a to z důvodu dosud ve všech souvislostech neznámého komplexního mechanismu působení organických inhibitorů. [13]

#### 3.1 Nátěrové hmoty a nátěry

Nátěrová hmota je souhrnný název pro všechny hmoty, které se vhodnou technikou nanášejí na podklad v tekutém, těstovitém nebo práškovitém stavu a které nanesené na podklad vytvoří nátěrový film mající ochranné, dekorativní nebo specifické vlastnosti.

Ke splnění požadovaného účelu je třeba použít nátěrové hmoty předepsaných vlastností, aplikovat je podle předepsaného postupu a co nejpečlivěji a volit druhy barevných odstínů a dalších optických vlastností nátěrových hmot tak, aby se dosáhlo žádoucího estetického efektu. [15]

Nátěrový film je souvislá tenká vrstva, která vzniká na povrchu předmětu po nanesení nátěrové hmoty a po jejím zaschnutí. Může být jednovrstvý nebo několikavrstvý podle toho, zda byl určitý druh nátěrové hmoty nanášen na povrch předmětu jednou nebo několikrát. Bývá zpravidla několikavrstvý a jednotlivé vrstvy jsou vytvářeny nanášením různých druhů nátěrových hmot.



### **3.2 Typy nátěrových systémů**

Podle filmotvorných složek dělíme nátěrové hmoty na asfaltové, polyesterové, celulózové, práškové, chlorkaučukové, silikonové, lihové, olejové, syntetické, polyuretanové, vodové a pomocné.

Podle charakteristických vlastností a obsahu pigmentu dělíme nátěrové hmoty na transparentní, které obsahují jen pojiva nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech, a pigmentové, které obsahují barevné antikorozi pigmenty a plniva.

Podle způsobu nanášení dělíme nátěrové hmoty na hmoty nanášené štětcem, stěrkou, navalováním, máčením, poléváním, pneumatickým stříkáním a hmoty nanášené elektroforézou.

Podle zasychání dělíme nátěrové hmoty na hmoty fyzikálně zasychající (odpařování rozpouštědel), kam patří lihové, asfaltové, celulózové, chlorkaučukové a polymerátové nátěrové hmoty, fyzikálně chemicky zasychající (po odpařování rozpouštědel v důsledku chemických reakcí se původně tekutá filmotvorná látka mění na tuhou a vzniklý nátěrový film získává pevnost, tvrdost a chemickou odolnost), patří sem fermeže, olejové, alkydové, rezolové, silikonové, močovinové, melaminové, epoxydové a polyesterové nátěrové hmoty. [12]

Podle teploty zasychání dělíme nátěrové hmoty na hmoty schnoucí na vzduchu, t. j. při normální teplotě 20°C a vypalovací při teplotě nad 100°C.

Podle účelu použití a klimatické odolnosti dělíme nátěrové hmoty na hmoty vnitřní a venkovní, které snášejí venkovní atmosféru a jsou poměrně odolné vůči účinkům povětrnosti a slunečnímu záření, a speciální nátěrové hmoty pro ochranu proti pohonným hmotám, kyselinám apod. [15]

Podle pořadí v nátěrovém systému dělíme nátěrové hmoty na hmoty napouštěcí, základní, vyrovnávací, podkladové, vrchní a maskovací. Podle počtu nátěrů dělíme nátěry na jednovrstvé, dvouvrstvé, trojvrstvé nebo vícevrstvé. Dle ČSN EN ISO 4618-1 rozlišujeme nátěrové vrstvy základní, podkladové a vrchní.

### **3.3 Složení nátěrových hmot**

V současné době se pro výrobu nátěrů používá velké množství nejrozličnějších surovin, jejichž počet se odhaduje kolem tisíce. Patří sem jak suroviny, které se používají

v tisícitunových množstvích, tak i suroviny používané ojediněle v minimálních množstvích. Rozhodujícím kritériem pro jejich výběr je v dnešní době ekologické hledisko. Nepřípustné jsou antikorozní pigmenty na bázi olova a chrómu. Nátěrová hmota musí být také fyziologicky nezávadná, nesmí obsahovat žádné toxické látky. Stále větší důraz se klade na co nejnížší obsah organických rozpouštědel v nátěrových hmotách.

Základními složkami nátěrových hmot jsou filmotvorné látky – pojiva, pigmenty a těkavé látky – rozpouštědla, plnidla a aditiva.

### **3.4 Aplikace nátěrových hmot**

Mezi nejdůležitější faktory, které rozhodujícím způsobem ovlivňují jakost a celkovou životnost nátěrů, patří správná volba technologie nanášení. Způsobů nanášení nátěrových hmot je mnoho a každý má své výhody a nevýhody. Proto je nutno při volbě správného způsobu nanášení přihlížet k povaze nátěrové hmoty, k povaze natíraného předmětu a dalším podmínkám, za nichž je nátěr zhotovován. [12]

Na volbu technologie nanášení má vliv velikost, tvar a množství upravovaných předmětů, jakost povrchu materiálu (pórovitost, stupeň čistoty), požadované konečné vlastnosti nátěru (vzhled, tloušťka, stupeň korozního namáhání), vlastnosti použitých nátěrových hmot (rychlost zasychání, tekutost rozpouštědel, slévatelnost, měrná vodivost atd.), a také pracnost a ekonomie jednotlivých technologií nanášení.

V praktické části bakalářské práce se zabývám vyhodnocením experimentálních zkoušek tří různých nátěrů nanášených štětcem.

Nanášení nátěrových hmot štětcem je jeden z nejpoužívanějších způsobů nanášení a patří mezi nejstarší. Vyžaduje však řemeslnou zručnost, vhodné odborně udržované kvalitní štětce a závisí na svědomitosti natěračů.

Největší předností nanášení základních nátěrů štětcem je, že se dosahuje dokonalého rozpracování nátěrové hmoty - jejího rozetření a přilnutí do pórů materiálu. Tímto se docílí dokonalé přidržnosti nátěru k podkladovému materiálu. Díky tomu, že při tomto způsobu nanášení jsou minimální ztráty nátěrové hmoty, nebylo nanášení štětcem ještě vytlačeno jinými metodami při úpravě konstrukcí, lodí apod. [12]

## 4 Předúpravy povrchu před aplikací nátěrového systému

Funkčnost ochranných povlaků vytvořených z nátěrů a podobných produktů nanesených na ocelovém podkladu závisí významně na stavu ocelového povrchu bezprostředně před nanášením nátěrů. Základní faktory ovlivňující plnění jejich funkce jsou přítomnost rzi a okují, přítomnost nečistot na povrchu včetně solí, prachů, olejů a mastnot a profil povrchu. [16]

Povrch kovu musí být před zhotovením ochranného nátěru vhodným způsobem upraven. Stav povrchu kovu a stupeň předúpravy povrchu významně ovlivňuje životnost a kvalitu nátěru. Obecně se zastává názor vycházející z praktických zkušeností, že až 75% příslušného selhání ochranného působení nátěrů je důsledkem špatného nebo nevhodného stanovení přípravy povrchu před zhotovením. Podmínkou kvality je především pevné spojení kovu a organického nátěru a celistvost povlaku. Povrch nových ocelových profilů a plechů, které jsou zhotoveny válcováním za tepla, je pokryt okujemi. Povrch tenkých plechů válcovaných za studena je pokryt tenkou vrstvičkou konzervačních olejů. Na ocelovém povrchu, který je určen pro zhotovení údržbových nátěrů, se obvykle nalézají vedle rzi i rozpustné soli, prach, mastnoty a zbytky starých nátěrů.

Chemické a elektrochemické úpravy jsou odmašťování, moření a leštění, lepení. Mechanické úpravy jsou otryskání, omílání, broušení, leštění, kartáčování a povrchové zpevňování.

Tryskání je jedna z metod patřící mezi ideální přípravy povrchu vodní turbíny pro aplikaci nátěru, a to hlavně v případě, chceme-li dosáhnout maximální antikorozi účinnosti povrchu. Někdy může být tento druh předúprav těžko realizovatelný, proto je nutno zvolit náhradní řešení, například kartáčování a broušení.

Technologií otryskávání je možné připravit povrch potřebné jakosti – nejen technicky dokonalé očištění povrchu materiálu od okují, rzi i jiných nečistot, ale i dosažení vhodné mikrogeometrie a fyzikálně-chemických vlastností povrchu. Čili poskytuje nejen povrch, který je kovově čistý, ale rovněž i jeho vhodnou drsnost přispívající k lepšímu zakotvení základních nátěrů. V procesu otryskávání jde především o aktivitu povrchu vyvolanou silnou deformací povrchových vrstev při tryskání, která má významný vliv na adhezi povlaku k základnímu materiálu. [17] Podstatným parametrem je hodnota Rz (hodnota

největší výšky). Ze zkušeností se nejvíce používá hodnota  $Rz = 40 \mu m$ . Hodnota  $Rz$  je závislá především na volbě vhodného abraziva.



**Obr. 4-1** Mobilní tryskáč jednotka Spolmont [18]

Drsnost otryskaného povrchu závisí na zrnitosti použitého otryskávacího prostředku a měří se profilometrem. Při volbě optimálního otryskávacího prostředku je obvykle vhodný kompromis mezi dosaženou drsností a čistotou povrchu. [17] Druh otryskávacího materiálu se volí dle druhu povrchu, materiálu, stupně znečištění a tloušťky stěn. Trysaný povrch se z hlediska mikrogeometrického uspořádání nerovností řadí do skupiny neorientovaných izotropních povrchů. Jeho charakter je dán především tvarem tryskacího prostředku. Mluvíme-li o čistotě povrchu, v oblasti čištění otryskáváním máme na mysli hodnotu danou parametrem  $Sa$  - stupeň přípravy povrchu, který je blíže popsán normou ČSN ISO 8501-1. Tato norma rovněž specifikuje typy povrchu, resp. stupně zarezavění.

Pro nanášení nátěrových hmot na vodní turbíny dle normy ČSN EN ISO 8501-1 volíme otryskání na stupeň  $Sa 2 \frac{1}{2}$  [16], pokud nelze zařízení otryskat, připraví se povrch jiným vhodným a dostupným způsobem, například kartáčováním a broušením.

Pro tryskání již zabudovaného zařízení MVE do stavby je třeba využít mobilního tryskacího zařízení **Obr. 4-1**.

## **5 Návrh experimentálních metod**

### **5.1 Vizuální kontrola materiálu**

Vizuální hodnocení povrchu podkladového materiálu dle dle ČSN ISO 8501-1. [16]

### **5.2 Čistota povrchu**

Stanovení prachu na podkladech k nanesení nátěrových hmot ČSN ISO 8502-3. [19]

### **5.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287**

### **5.4 Stanovení tloušťky jednotlivých povlaků (pro nátěry)**

Měření tloušťky mokrého filmu a suchého filmu dle normy ČSN EN ISO 2808. [20]

### **5.5 Odtrhová zkouška přilnavosti.**

Hodnocení odtrhové pevnosti nátěrového povlaku ČSN EN ISO 16 276–1. [21]

### **5.6 Zkoušení odolnosti nátěrových systémů křížovým řezem**

Hodnocení křížového řezu k podkladovému kovu dle ČSN EN ISO 16 276–2. [22]

### **5.7 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru podle ČSN 67 3087. [23]**

#### **5.7.1 Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628–2. [24]**

#### **5.7.2 Hodnocení degradace nátěrů a stupně prorezavění ČSN EN ISO 4628-3 [25]**

#### **5.7.3 Stanovení delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8. [26]**

## 6 Popis jednotlivých zkoušek

Cílem experimentálních prací je otestování ochranných vlastností nátěrových systémů, ovlivňujících korozivní odolnost, životnost a přilnavost nátěrových systémů, které jsou zásadní pro ochranu povrchu vodních turbín.

### 6.1 Vizuální kontrola materiálu

Ocelový povrch se porovnává s fotografickými vyobrazeními dle ISO 8501-1. na denním rozptýleném světle nebo na umělém světle s ekvivalentní svítivostí, bez použití zvětšení. Odpovídající vyobrazení se přiloží na stejnou úroveň do blízkosti hodnoceného povrchu. Pro určení stupně zarezavění se zaznamenává evidentně nejhorší stupeň. Jako výsledek hodnocení stupně přípravy povrchu se zaznamenává vzhled nejbližší odpovídající hodnocenému povrchu. [16] Pro vizuální vyhodnocení povrchů již dříve natřených, připravených pro obnovu nátěrů, se používají pouze fotografické přílohy označené D nebo C. Pro porovnání je na fotografii přiložen také reprezentativní snímek původního povrchu oceli, tj. oceli před očištěním.

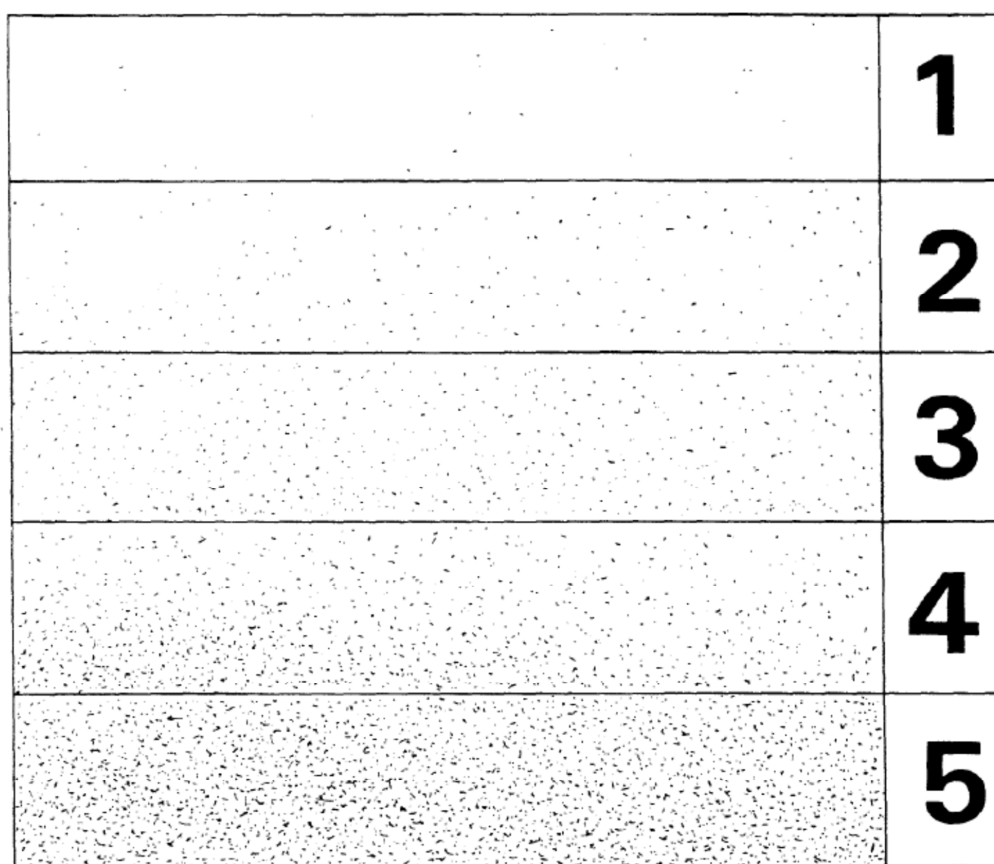
### 6.2 Čistota povrchu

Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu upravuje ČSN 8502-3. ČSN 8502-3 popisuje metodu pro stanovení množství a velikost částic prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání pomocí samolepící pásky. Součástí normy je obrazová příloha hodnocení průměrné velikosti prachových částic **Obr. 6-1**. Zkouška se provádí pomocí speciální pásky, která musí být bezbarvá, průhledná, samolepící, citlivá na přítlak, šíře 25 mm, mající adhezní sílu při odtrhu nejméně 190 N na metr šíře, měřenou v souladu s odtrhovou zkouškou pod úhlem 180°. [19] Vyhodnocuje se podle normy. Hodnocení dle normy je uvedeno v následující tabulce **Tab. 3**.

Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10x
1	částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle Ø menší než 50 µm)
2	částice již viditelné prostým okem (částice obvykle Ø mezi 50 µm a 100 µm)
3	částice jasně viditelné prostým okem (velikost částice v Ø od 0,5 mm)
4	velikost částice v Ø mezi 0,5 mm a 2,5 mm
5	velikost částice v Ø větší než 2,5 mm

**Tab. 3** Třídy velikosti prachových částic [19]

Pro charakterizaci povrchu je nutno provést dostatečný počet hodnocení.



**Obr. 6-1** Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle označení 1, 2, 3, 4 a 5 [19]

### **6.3 Měření drsnosti podkladového materiálu**

Stanovení drsnosti povrchu se provádí v souladu s ČSN EN ISO 4287, která stanovuje geometrické požadavky na výrobky (GPS), termíny, definice a parametry struktury povrchu.

Pro vlastní měření se využívá mobilní drsnoměr Mitutoyo Surfes SJ-301, kde se povrchová textura materiálu snímá pomocí diamantového hrotu dotykovou metodou a naměřené údaje se mimo zobrazení na displeji ukládají, do paměti přístroje a lze je přes standartní rozhraní RS232 přenést k dalšímu zpracování do počítače.

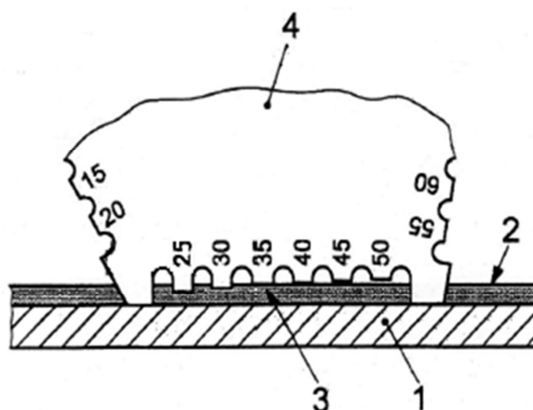
### **6.4 Stanovení tloušťky jednotlivých povlaků pro nátěry**

Měření tloušťky mokrého filmu a suchého filmu aplikované nátěrové hmoty se provádí podle normy ČSN EN ISO 2808. [20]

#### 6.4.1 Stanovení tloušťky mokrého filmu

Stanovení tloušťky mokrého filmu se provádí pomocí měřicího hřebenu **Obr. 6-2**, vyrobeného z korozi-vzdorné oceli, který není napadán rozpouštědly nátěrové hmoty. Vnější zuby měřicího hřebenu tvoří základní linii. Vnitřní zuby jsou postupně zkracovány tak, že tvoří odstup mezi základní linií zubů a daným zubem. Velikost každého odstupu se odečítá

na stupnici přístroje. Bezprostředně po nanesení nátěrové hmoty se měřicí hřeben pevně přitiskne k podkladu tak, že jeho zuby jsou kolmo k rovině povrchu. Měřicí hřeben se oddálí a určí se nejkratší zub, který je ještě potřísněn nátěrovou hmotou. Zaznamená se tloušťka, která odpovídá průměrné hodnotě mezi posledním nepotřísněným a prvním potřísněným zubem. Měření poskytuje přibližné údaje o tloušťce mokré vrstvy. Měření tloušťky povlaku je třeba provádět co nejdříve po nanesení povlaku. Provádí se pro každou vrstvu nátěru.



**Obr. 6-2** Příklad měřicího hřebenu [20]

1 – podklad, 2 – povlak, 3 – bod smočení, 4 měřicí hřeben

#### 6.4.2 Stanovení tloušťky suché vrstvy

Tloušťka suchého filmu na ocelovém pokladu se měří nedestruktivní metodou pomocí měřicího přístroje tloušťkoměru ELCOMETER 456 **Obr. 6-3**, což je přístroj pro měření síly povlaků. Přednost přístroje spočívá v tom, že sondy je možno používat nedestruktivně na feromagnetické, neferomagnetické i kombinované podklady.





**Obr. 6-3** *Tloušťkoměr Elcometer 456 a měřicí sonda*

Feromagnetické sondy měří tloušťku neferomagnetických povlaků na železe nebo na oceli. Takovými povlaky jsou např. barvy, laky, plastické hmoty, emaily, pryže, keramika, zinek, galvanické nebo metalické povlaky atd. Neferomagnetické sondy jsou určeny

pro měření tloušťky nevodivých povlaků na neferomagnetických kovech, např. barev, laků, eloxanu, emailu, umělé hmoty, epoxidové pryskyřice, práškových povlaků atd.; hliníku, zinku, mosazi atd.

### **6.5 Odtrhová zkouška přilnavosti.**

Norma ČSN EN ISO 16 276-1 stanoví postup provedení odtrhové zkoušky na jednovrstvém nebo vícevrstvěném nátěrovém systému připraveném z nátěrových hmot nebo podobných produktů. Výsledkem zkoušky je minimální tahové napětí, které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom) nebo nejslabší složky (kohezní lom) zkušebního uspořádání.[8] Na zkoušený povlak se přilepí zkušební váleček **Obr. 6-4** o průměru 20 mm z vysokopevnostního kovu dostatečné tloušťky, aby bylo vyloučeno během provádění zkoušky nebezpečí deformace.



**Obr. 6-4** *zkušební váleček a ořezaný nátěr po obvodu*

Jako lepidlo lze použít dvousložkový epoxidový přípravek ARALDITE Standart, který se mísí v poměru 1:1, doba vytvrzování 24 h. K proříznutí vytvrzeného lepidla a nátěru

**Obr. 6-4** zkušební váleček a ořezaný nátěr po obvodu až na podklad podél obvodu zkušebního válečku slouží ostrý trubkový nástroj.



**Obr. 6-5** Odrhový přístroj ELCOMETR F 106/4

Na vlastní měření odtrhu se používá trhací přístroj ELCOMETER model F 106/4 Adhesion tester **Obr. 6-5**.

Jeho výrobcem je firma Elcometer Instruments, Velká Británie. Rozsah vyvození odtrhového napětí (napětí v tahu) je 0 až 22 MPa.

Posouzení lomové plochy pro dvě nátěrové vrstvy se dle ČSN EN ISO 16 276-1 rozděluje na:

A	kohezní lom v podkladu	[%]
A/B	adhezní lom mezi podkladem a prvním nátěrem	[%]
B	kohezní lom prvního nátěru	[%]
C	kohezní lom druhého nátěru	[%]
B/C	adhezní lom mezi prvním a druhým nátěrem	[%]
-	kohezní poškození vrchní vrstvy	[%]
-/Y	adhezní lom mezi vrchním nátěrem a lepidlem	[%]
Y	kohezní lom v lepidle	[%]
Y/Z	adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem	[%]

Nutnou potřebnou odtrhovou sílu lze určit ze vztahu  $F = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \sigma}{4}$  [N], kde d je průměr zkušebního válečku v mm a  $\sigma$  je zjištěná odtrhová pevnost v MPa.

## **6.6 Zkoušení odolnosti nátěrových systémů křížovým řezem**

Principem zkoušky je provedení křížového řezu délky 40 mm v úhlu 30 - 45° podle šablony. Řez se provede rovnoměrným tahem ostrým nástrojem (skalpel). Výhodou zkoušky je, že je možno hodnotit i tloušťky nátěru vyšší než 250  $\mu\text{m}$ .

Hodnotí se odlupování nátěru podél řezů nebo v místě jejich protnutí pomocí lepící pásky předepsaných vlastností. Stupnice hodnocení přilnavosti je O - 5 dle ČSN EN ISO 16 276-2. [22]

## **6.7 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru**

Norma ČSN 67 3087 uvádí tři pracovní postupy A, B a C. Já jsem zkoušku prováděl podle postupu A, který je určen pro nátěry na oceli a spočívá v opakovaném vystavení zkušebních vzorků působení okyseleného roztoku chloridu sodného (NaCl) za přídavku peroxidu vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). [23] Při tomto postupu se teplota zkušebního roztoku během zkoušky udržuje na teplotě  $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Před zrychlenou zkouškou odolnosti materiálu, v průběhu jednotlivých přestávek mezi jednotlivými cykly zrychlené zkoušky odolnosti materiálu a po posledním cyklu se vyhodnocuje stupeň puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2. [24], hodnotí se degradace nátěrů a stupně prorezavění ČSN EN ISO 4628-3. [25], stanovuje se stupeň delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8. [26]

## 7 Charakteristika vstupních materiálů.

### 7.1 Podkladový materiál

Nátěrové systémy byly aplikovány na podkladové materiály z válcovaného ocelového plechu 11523 s označením Fe 510 C.

Jedná se o jemnozrnnou nelegovanou konstrukční ocel vhodnou pro tváření za studena, má předepsané chemické složení dle normy ČSN 41 1523:

Uhlík (C)	Mangan (Mn)	Křemík (Si)	Fosfor (P)	Síra (S)	Hliník (Al)
Max 0,20	Max 0,16	Max 0,55	Max 0,040	Max 0,040	Min 0,020

*Tab. 4 Obsah prvků u ocelového plechu 11 523 v hm. % [27]*

Dále má předepsané mechanické vlastnosti:

Re 250 – 290 MPa

Rm 500 – 620 MPa

$\sigma_{Dt}$  statické 140 – 210 MPa

$\sigma_{Dt}$  mříživé 90 – 135 MPa

$\sigma_{Dt}$  střídavé 65 – 95 MPa [28]

### 7.2 Nátěrový systém Tikkurila

Jako první byl použit nátěrový systém finské firmy Tikkurila. Tento dvousložkový pryskyřici modifikovaný systém je vhodný na podzemní i trvale ve vodě ponořené konstrukce. Skládá se ze základního nátěru TEMACOAT GPL-S PRIMER a vrchního nátěru TEMACOAT RM 40.

#### 7.2.1 TEMACOAT GPL-S PRIMER

TEMACOAT GPL-S PRIMER je dvousložková, polyamidem vytvrzovaná, vysocenanášivá základní epoxidová barva s obsahem zinkfosfátu. Používá se jako základní barva nebo mezivrstvá barva v epoxidových a polyuretanových systémech vystavených mechanickému a chemickému namáhání. Vhodná je jako mezivrstva na zinkepoxidové a zinksilikátové základní barvy. [29]

Obsah těkavých organických sloučenin (VOC) je  $430 \text{ g/dm}^3$ . Obsah VOC v natužené směsi (zředěné 30 obj. %) je  $540 \text{ g/dm}^3$ .

Doporučená tloušťka nátěrového filmu		
Suchý (DFT) [ $\mu\text{m}$ ]	Mokrý (WFT)	Vydatnost
50	90	11,0
100	185	5,5

*Tab. 5 Doporučená tloušťka nátěrového filmu TEMACOAT GPL-S PRIMER*

<b>Objemová sušina</b>	$55 \pm 2 \%$
<b>Hmotnostní sušina</b>	$68 \pm 2 \%$
<b>Hustota</b>	$1,3 - 1,4 \text{ kg/dm}^3$ (natužená směs)
<b>Poměr tužení</b>	Barva : tužidlo 4 : 1
<b>Doba zpracovatelnosti</b>	6 h(tužidlo 008 5600)
	3 h(tužidlo 008 5650)

*Tab. 6 vlastnosti TEMACOAT GPL-S PRIMER [28]*

### 7.2.2 TEMACOAT RM 40

TEMACOAT RM 40 je dvousložková pryskyřicí modifikovaná epoxidová barva vynikající odolností vůči mechanickému a chemickému namáhání a rovněž trvalému ponoření ve vodě. Používá se jako základní nebo vrchní barva na vnitřní i venkovní ocelové, pozinkované a hliníkové konstrukce a dále na betonové povrchy vystavené mechanickému a chemickému namáhání. Je vhodná na podzemní a trvale ponořené konstrukce. [30]

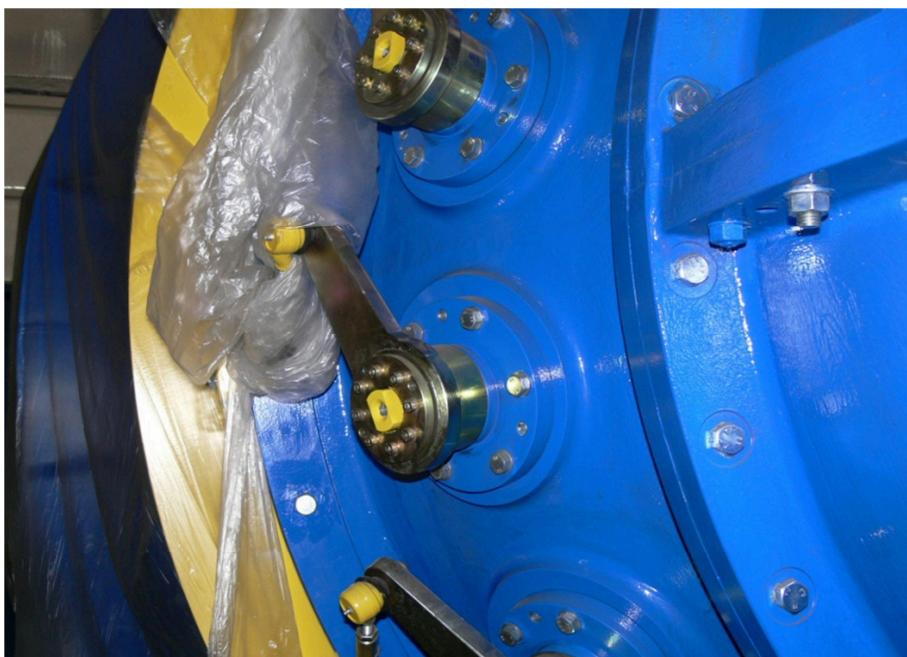
Obsah těkavých organických sloučenin (VOC) je  $310 \text{ g/dm}^3$ . Obsah VOC v natužené směsi (zředěné 30 obj. %) je  $456 \text{ g/dm}^3$ .

Doporučená tloušťka nátěrového filmu		
Suchý (DFT) [ $\mu\text{m}$ ]	Mokrý (WFT) [ $\mu\text{m}$ ]	Vydatnost
80	125	8,1
125	195	5,2

*Tab. 7 Doporučená tloušťka nátěrového filmu TEMACOAT RM 40 [31]*

<b>Objemová sušina</b>	65 ± 2 %
<b>Hmotnostní sušina</b>	77 ± 2 %
<b>Hustota</b>	1,3 – 1,4 kg/dm <sup>3</sup> (natužená směs)
<b>Poměr tužení</b>	Barva : tužidlo 4 : 1
<b>Doba zpracovatelnosti</b>	8 h(tužidlo 008 5600)
	4 h(tužidlo 008 5650)

*Tab. 8 Technické vlastnosti TEMACOAT RM 40 [31]*



*Obr. 7-1 Kaplanova přímoproudá turbína natřená barvou Temacoat RM 40*

### 7.3 Nátěrový systém NORMASTIC 405.

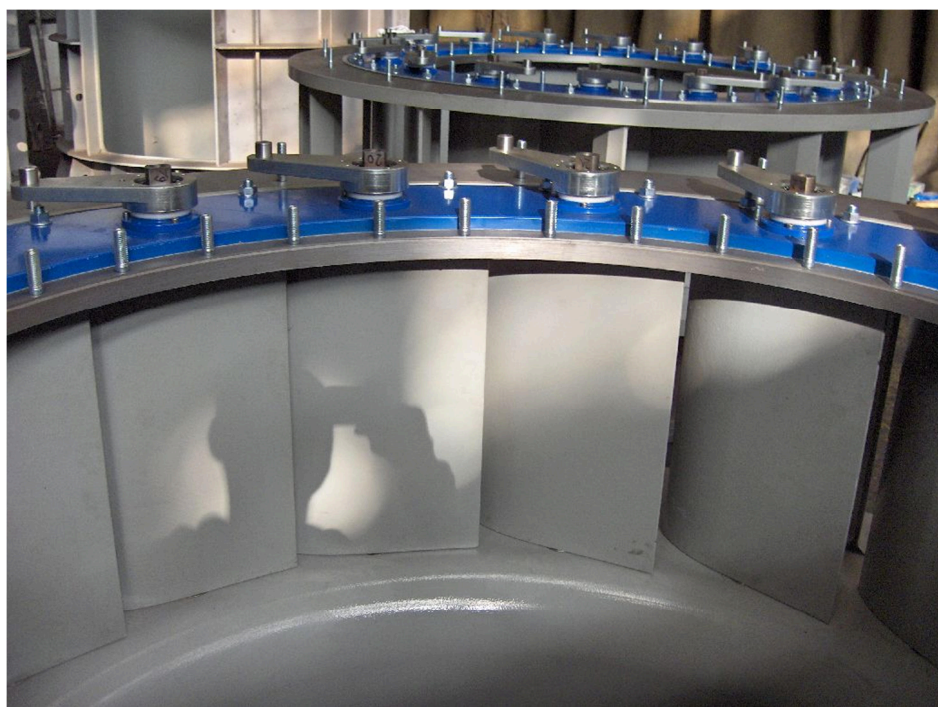
Barva NORMASTIC 405 [31] Norské firmy Jotun Paints je vysokосуšinný, dvoukomponentní železitou slídou plněný epoxidový základní krycí nátěr, který je možno aplikovat v silné vrstvě. Obsahuje speciální přísady penetrující přilnavé korozní produkty.

<b>Doporučená tloušťka nátěrového filmu</b>		
<b>Suchý (DFT) [μm]</b>	<b>Mokrý (WFT) [μm]</b>	<b>Vydatnost [m<sup>2</sup>/dm<sup>3</sup>]</b>
120	150	6,7
200	250	4,0
300	375	2,7

*Tab. 9 Doporučená tloušťka nátěrového filmu [31]*

<b>Objemová sušina</b>	80 %
<b>Hmotnost sušiny</b>	1,23 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Specifická hmotnost</b>	1,39 kg/dm <sup>3</sup>
<b>Množství VOC</b>	129 g/kg; 180 g/dm <sup>3</sup>
<b>Množství TOC</b>	105 g/kg; 146 g/dm <sup>3</sup>
<b>Poměr tužení</b>	1 : 1

*Tab. 10 Technické vlastnosti Normastic 405*



*Obr. 7-2 Rozváděcí kolo Kaplanovy turbíny natřené barvou Normastic 405*

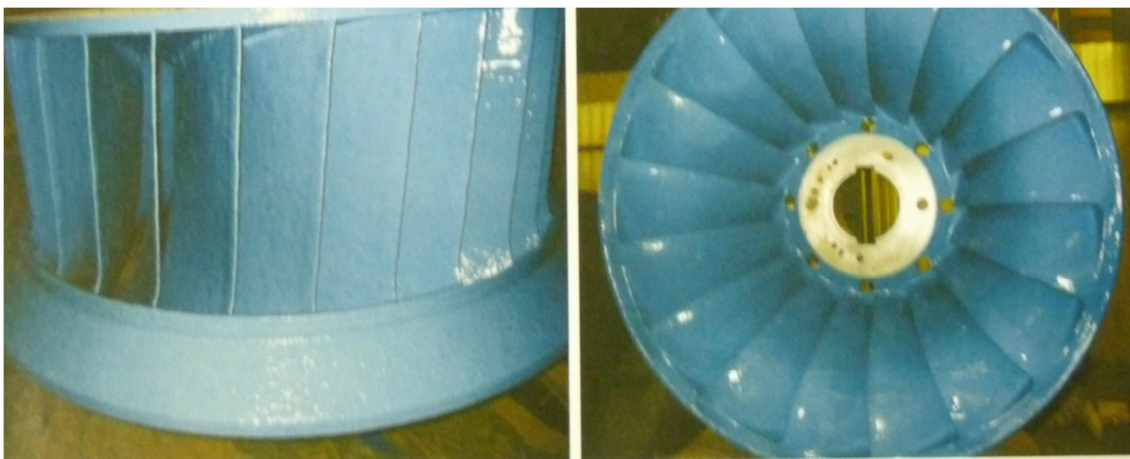
#### **7.4 Nátěrový systém Belzona 1341**

Belzona 1341 je výrobkem britské firmy Belzona. Jedná se o dvousložkový materiál speciálně navržený pro zlepšení účinnosti průtokových soustav a jejich ochranu před korozí a erozí. [32]

Základem je Polyoxypropylen diamin a Aminoethyl piperazin. Tužidlem je Bisfenol A-epichlorhydrin.

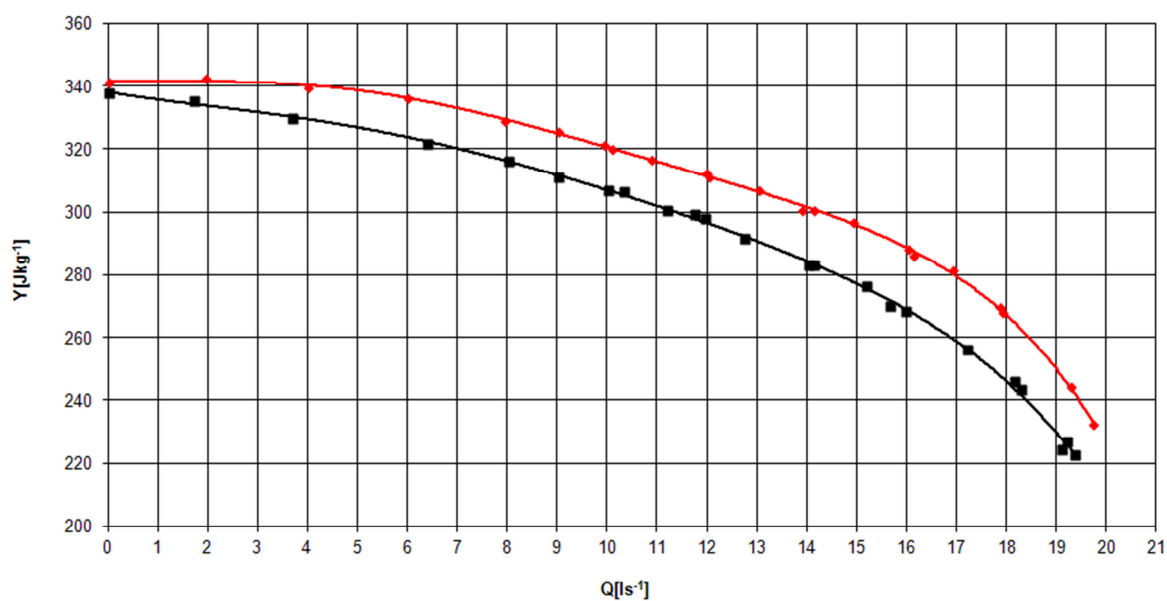
Optimální tloušťka jedné suché vrstvy je 250 µm. Pro experimentální zkoušky byly použity dva nátěry na každý vzorek.





**Obr. 7-3** Oběžné kolo vodní turbíny ošetřené barvou Belzona 1341

Materiál Belzona 1341 má příznivý vliv na účinnost **Obr. 7-4** hydraulických strojů a systémů, což dokládá studie VUT Brno.



**Obr. 7-4** Zlepšení charakteristiky hydraulického stroje po aplikaci nátěru Belzona 1341 [33]



## 8 Vyhodnocení, výsledky experimentálních prací

### 8.1 Označení a charakteristika vzorků

Jednotlivé experimentální zkoušky byly prováděny na jednom podkladu, a to na ocelovém plechu.

Vzorky jsou rozděleny dle použitých nátěrů a podle použité zkoušky. Od každého nátěrového systému byly pořízeny tři vzorky. Vzorky Tikkurila byly označeny 1, 2 a 3. Vzorky Normastic byly označeny 4, 5 a 6. Vzorky Belzona byly označeny 7, 8 a 9.

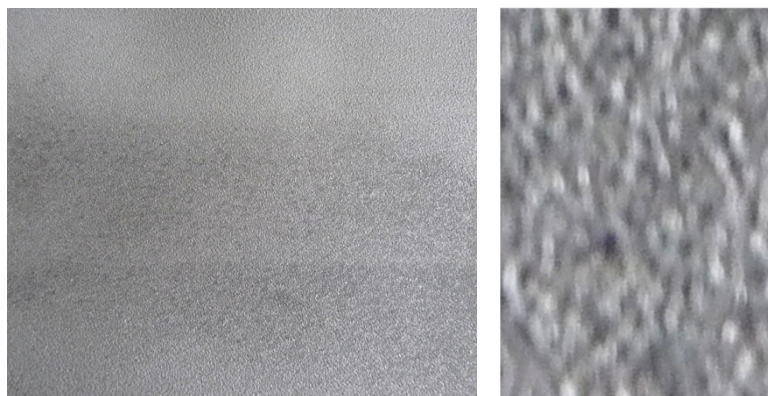
Před aplikací jednotlivých nátěrových systémů byla provedena předúprava ocelového podkladu otryskáním, a to i z důvodů, že otryskáváním se dosahuje drsnějšího povrchu, který přispívá ke zlepšení přilnavosti těchto nátěrů. K této technologii předúpravy byla použita litinová drť. Tryskáním byly odstraněny okuje, rez a cizí látky.

Na takto připravený podklad byly aplikovány jednotlivé nátěrové systémy plochým štětcem. Při míchání barev jsem se řídil předpisy výrobce nátěrových hmot uvedených v materiálových listech. Při nanášení systému byla kontrolována vlhkost vzduchu.

Vzorky byly natřeny štětcem ve dvou vrstvách podle tabulky **Tab. 14**. Po zaschnutí byl povrch rovný a hladký.

### 8.2 Vizuální kontrola materiálu

U této metody hodnocení byl zkoumán stupeň zarezavění a zbytky předchozích povlaků na připraveném podkladu před aplikací nátěru dle ČSN ISO 8501-1. [16].



**Obr. 8-1** povrch plechu připravený k aplikaci nátěru a jeho zvětšený detail

Povrch podkladového materiálu **Obr. 8-1** lze hodnotit jako čistý. Při podrobné prohlídce nelze zjistit přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytky nátěrů ani cizí látky. Proto povrch podkladového materiálu hodnotím stupněm Sa 2 ½ dle ČSN ISO 8501-1. [16].

### 8.3 Čistota povrchu

Pro zjištění množství prachových částic a jejich velikosti na otryskaném podkladovém plechu k nanesení nátěrových hmot jsem provedl tři měření pomocí snímání samolepící páskou. Porovnával jsem obraz po nalepení sejmuté lepicí pásky ze zkoumaného povrchu na bílý čistý papír se standardem podle normy **Obr. 6-1**. Třídu velikosti prachových částic jsem hodnotil podle tabulky **Tab. 3**. Vyhodnocení jednotlivých měření podle ČSN ISO 8502-3 [19] je v následující tabulce **Tab. 11**.

Měření	Množství prachových částic	Velikost
1	1	2
2	1	2
3	1	2

**Tab. 11** Vyhodnocení čistoty povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Ve všech třech vzorcích bylo pouhým okem vidět nepatrné množství částic velikosti do 100 µm.

### 8.4 drsnost povrchu

Stanovení drsnosti připraveného povrchu pro aplikaci nátěrových systémů jsem provedl podle ČSN EN ISO 4287 pomocí drsnoměru SurfTest SJ 301 **Obr. 8-2**. Nastavení měřicího systému je v tabulce **Tab. 12**

Work Name	Measuring Tool	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	λc	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	1	8 mm	GAUSS

**Tab. 12** Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo SurfTest SJ-301

Po otryskání bylo provedeno deset nezávislých měření a hodnoty jsou zaznamenány v tabulce **Tab. 13**. Dále byl zaznamenán profil jednoho průběhu měření a přes sériové rozhraní byl přenesen do počítače **Obr. 8-3**.



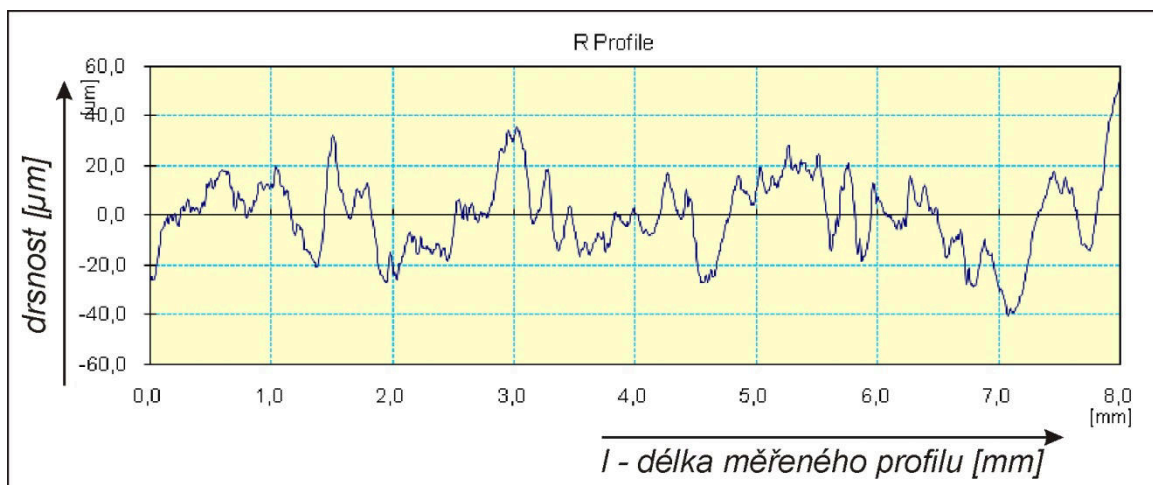
**Obr. 8-2** Drsnoměr, Surfest SJ 301, detail při měření na měřící část

Výstupem měření drsnoměrem Surfest SJ 301 jsou hodnoty:

$R_a$	průměrná aritmetická úchylka profilu	$[\mu\text{m}]$
$R_p$	největší výška výstupků profilu	$[\mu\text{m}]$
$R_q$	průměrná kvadratická úchylka profilu	$[\mu\text{m}]$
$R_{sk}$	šikmost posuzovaného profilu	$[-]$
$R_{ku}$	špičatost posuzovaného profilu	$[-]$
$R_v$	největší hloubka výstupků profilu	$[\mu\text{m}]$
$R_z$	výška nerovnosti profilu z deseti bodů	$[\mu\text{m}]$

Měření	$R_a$ $[\mu\text{m}]$	$R_z$ $[\mu\text{m}]$	$R_q$ $[\mu\text{m}]$	$R_p$ $[\mu\text{m}]$	$R_v$ $[\mu\text{m}]$	$R_{sk}$ $[-]$	$R_{ku}$ $[-]$
1	12,40	21,27	15,14	39,41	3,85	0,21	2,89
2	11,88	60,52	14,28	32,60	27,91	0,12	2,30
3	11,51	62,19	14,18	16,12	26,06	0,43	2,73
4	15,57	82,04	18,67	43,12	30,91	0,07	2,23
5	14,07	94,20	17,95	36,83	57,36	-0,55	3,18
6	16,46	102,20	20,39	48,14	54,04	-0,27	2,75
7	11,93	69,68	14,58	37,85	31,83	0,27	2,52
8	13,06	76,00	16,14	43,75	32,24	0,57	2,80
9	14,75	9,75	18,11	46,32	45,42	-0,26	2,52
10	12,15	95,18	15,38	54,91	40,27	0,11	3,28
Průměr	13,38	67,30	16,48	39,91	34,99	+	+

**Tab. 13** Naměřené parametry drsnosti



**Obr. 8-3** Průběh drsnosti podkladu

Z naměřených hodnot vyplývá, že povrch je vhodný pro aplikaci připravených povrchových nátěrů pro experimentální zkoušky.

### 8.5 Zkoušení odolnosti nátěrových systémů křížovým řezem

Na vzorcích jsem po zrychlené ponorové zkoušce odolnosti materiálu provedl rovnoměrným tahem ostrým nástrojem křížový řez délky 40 mm v úhlu podle šablony až k podkladovému kovu.

Hodnotil jsem odlupování nátěru podél řezů a v místě jejich protnutí pomocí lepicí pásky předepsaných vlastností. Žádný ze vzorků nevykazoval odlupování nebo odpadávající nátěr, proto vzorky hodnotím stupněm 0 dle ČSN EN ISO 16 276–2. [22]

### 8.6 Stanovení tloušťky jednotlivých povlaků

Měření tloušťky mokrého filmu a suchého filmu jsem provedl dle normy ČSN EN ISO 2808. [20]

Tloušťka mokrého filmu byla měřena v průběhu nanášení jednotlivých vrstev štětcem zejména z důvodu kontroly dodržení doporučené tloušťky vrstev (**Tab. 5 a Tab. 7**) dle technických listů jednotlivých materiálů. Byla použita zubová hexagonální měrka s rozsahem 25-2000 μm **Obr. 6-2**.

Na každou stranu plechového vzorku byla aplikována základní a vrchní vrstva nátěrového systému tloušťky dle tabulky **Tab. 14**.

nátěrový systém	vrstva	barva	vrstva [μm]		celkem
			mokrý WFT	suchá DFT	suchá DFT
<b>Tikkurila</b>	základní	Temacoat GPL - S Primer	185	100	225
	vrchní	Temacoat RM 40	195	125	
<b>Normastic</b>	základní	Normastic 405	150	120	240
	vrchní	Normastic 406	150	120	
<b>Belzona</b>	základní	Belsona 1341	275	250	500
	vrchní	Belsona 1342	275	250	

**Tab. 14** Doporučné tloušťky vrstev nátěrové hmoty

Na všech devíti natřených vzorcích jsem po vytvrzení a před prováděním dalších zkoušek provedl měření tloušťky suchého filmu tloušťkoměrem Elcometer 456 **Obr. 6-3**. Všechna měření jsem postupně zaznamenával.

Výsledky jsou uvedeny v tabulce **Tab. 15**. Z těchto hodnot jsem pak vypočítal průměrné hodnoty, odchylky, určil maxima, minima.

Tloušťka suché vrstvy nátěrového systému [μm]																		
systém	Tekkurila Temacoat						Jotun Normastic						Belzona 1341					
vzorek strana Měření	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	1	2	1	2	1	2	0	1	2	1	2	1	2	0	1	2	1	2
1	203	233	244	236	243	244	253	214	223	221	256	216	489	548	452	551	470	551
2	226	238	232	221	249	212	259	259	228	234	236	233	522	543	487	531	491	546
3	221	229	223	226	225	235	262	235	237	223	212	258	504	550	453	555	472	538
4	215	245	224	247	207	231	263	217	228	239	229	219	534	531	457	463	486	546
5	206	221	233	244	204	233	242	265	214	224	216	226	505	527	471	456	501	544
6	238	228	213	241	229	204	236	228	248	228	216	247	529	551	538	487	515	555
7	212	236	238	235	209	205	236	259	221	229	223	263	477	540	528	507	459	542
8	204	248	236	233	220	233	254	217	245	242	258	248	530	540	550	484	483	547
9	208	248	228	227	219	226	253	212	213	229	257	232	518	532	507	523	460	546
10	231	245	233	244	212	210	256	220	217	220	217	221	459	498	494	512	460	525
Doporučená tloušťka	225						240						500					
průměr	216	237	230	235	222	223	251	233	227	229	232	236	507	536	494	507	480	544
odchylka od dop. hodn.	-4%	5%	2%	5%	-1%	-1%	5%	-3%	-5%	-5%	-3%	-2%	1%	7%	-1%	1%	-4%	9%
Max tloušťka	238	248	244	247	249	244	263	265	248	242	258	263	534	551	550	555	515	555
Min tloušťka	203	221	213	221	204	204	236	212	213	220	212	216	459	498	452	456	459	525

*Tab. 15 Naměřené hodnoty tloušťky suché vrstvy nátěru DFT v μm*

## 8.7 Odtrhová zkouška přilnavosti.

Výsledkem zkoušky odtrhové pevnosti nátěrového povlaku dle ČSN EN ISO 16276–1 je změření minimálního tahového napětí, které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom) nebo nejslabší složky (kohezní lom) zkušebního uspořádání. [21]

### Postup zkoušky:

1. Jemné obroušení válečku i nátěru.
2. Namíchání dvousložkového lepidla, mísicí poměr 1:1.
3. Nanesení lepidla na funkční plochu válečku.
4. Přilepení válečku na nátěr, doba vytvrzení 24 hodin.
5. Proříznutí nátěru až na podklad podél zkušebního válečku pomocí řezného nátěru.
6. Umístění vnějšího prstence na nátěr a nasunutí trhacího zařízení.
7. Odtrh na přístroji Elcometer.
8. Odečtení hodnoty odtrhové pevnosti (napětí v tahu).
9. Posouzení lomové plochy.
10. Očištění válečků od zbytků lepidla a barvy.

Byly provedeny tři nezávislé zkoušky na každém nátěrovém systému před zrychlenou ponorovou zkouškou odolnosti nátěru a tři nezávislé zkoušky na každém nátěrovém systému po zrychlené ponorové zkoušce odolnosti nátěru. Výsledky odtrhových zkoušek jsou v následujících tabulkách.

n	Číslo vzorku	Napětí v tahu $\sigma$ [MPa]	Odtrhová síla F [N]	Charakteristika lomu [ % ]			
				A/B	B/C	C	-/Y
1	1	5,0	1 570,0	-	60%	40%	-
2		6,0	1 884,0	-	70%	30%	-
3		6,0	1 884,0	-	65%	35%	-
Průměrná hodnota		5,7	1 779,3				

*Tab. 16 Výsledek odtrhové zkoušky Temacoat bez máčení*

n	Číslo vzorku	Napětí v tahu $\sigma$ [MPa]	Odtrhová síla F [N]	Charakteristika lomu [%]			
				A/B	B/C	C	-/Y
1	4	7,0	2 198,0	50%	-	-	50%
2		7,0	2 198,0	25%	-	-	75%
3		8,0	2 512,0	10%	-	-	90%
Průměrná hodnota		7,3	2 302,7				

*Tab. 17 Výsledek odtrhové zkoušky Normastic bez máčení*

n	Číslo vzorku	Napětí v tahu $\sigma$ [MPa]	Odtrhová síla F [N]	Charakteristika lomu [%]			
				A/B	B/C	C	-/Y
1	7	15,0	4 710,0	10%	-	-	90%
2		22,0	6 908,0	15%	-	-	85%
3		22,0	6 908,0	20%	-	-	80%
Průměrná hodnota		19,7	6 175,3				

*Tab. 18 Výsledek odtrhové zkoušky Belzona bez máčení*

Výsledky odtrhových zkoušek na vzorcích po třech cyklech Zrychlené ponorové zkoušky odolnosti materiálu:

n	Číslo vzorku	Napětí v tahu σ [MPa]	Odtrhová síla F [N]	Charakteristika lomu [%]			
				A/B	B	-/Y	Y/Z
1	2	7,0	2 198,0	-	90%	-	10%
2		5,0	1 570,0	-	80%	-	20%
3		5,0	1 570,0	-	100%	-	-
Průměrná hodnota		5,7	1 779,3				
Pokles průměrné hodnoty napětí po ponorové zkoušce		0,0%					

*Tab. 19 Výsledky po zrychlené zkoušce u Tikkurila Temacoat*



n	Číslo vzorku	Napětí v tahu $\sigma$ [MPa]	Odtřhová síla F [N]	Charakteristika lomu [ % ]			
				A/B	B	-/Y	Y/Z
1	5	3,0	942,0	-	80%	20%	-
2		3,0	942,0	-	50%	50%	-
3		2,0	628,0	-	50%	40%	10%
Průměrná hodnota		2,7	837,3				
Pokles průměrné hodnoty napětí po ponorové zkoušce		63,6 %					

*Tab. 20 Výsledky po zrychlené zkoušce u Normastic 405*

n	Číslo vzorku	Napětí v tahu $\sigma$ [MPa]	Odtřhová síla F [N]	Charakteristika lomu [%]			
				A/B	B	-/Y	Y/Z
1	8	12,0	3 768,0	-	-	80%	20%
2		20,0	6 280,0	30%	70%	-	-
3		22,0	6 908,0	10%	90%	-	-
Průměrná hodnota		18,0	5 652,0				
Pokles průměrné hodnoty napětí po ponorové zkoušce		8,5%					

*Tab. 21 Výsledky po zrychlené zkoušce u Belzona 1341*

Všechny materiály vykazují solidní výsledky u odtřhové zkoušky. Materiál Belzona 1341 vykazuje vynikající hodnotu potřebného minimálního odtřhového napětí na konci stupnice použitého měřicího systému. U nátěru Normastic 405 došlo po provedení zrychlené ponorové zkoušky k výraznému poklesu potřebného minimálního odtřhového napětí. Materiál Temacoat si původní mechanické vlastnosti zachoval i po provedení zrychlené ponorové zkoušky nátěru.

## 8.8 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru

Při zrychlené ponorové zkoušce jsem prováděl tři cykly podle postupu A, který je podle ČSN 67 3087 určen pro nátěry na oceli a spočívá v opakovaném vystavení zkušebních vzorků působení okyseleného roztoku, který obsahoval:

chlorid sodný	50 g
kyselinu octovou (100 %)	100 ml
peroxid vodíku (30 %)	5 ml

Do celkového objemu 1 dm<sup>3</sup> se roztok doplnil destilovanou vodou pH = 6. Během zkoušky se sledovala teplota, aby se pohybovala v rozmezí 37 ±0,5°C. [23]

Každý cyklus trval 16 h. Po každém cyklu jsem vzorek vyndal z roztoku, omyl destilovanou vodou, ponechal mimo zařízení volně na vzduchu při teplotě 23 °C po dobu 8 hodin. Během této doby jsem pořídil dokumentaci jednotlivých vzorků a provedl vyhodnocení předchozího cyklu z hlediska puchýřkování (ČSN EN ISO 4628-2), prorezivění (ČSN EN ISO 4628-3), delaminace (ČSN EN ISO 4628-8) a stupně puchýřkování v okolí řezu (ČSN EN ISO 4628-2). Výsledky po jednotlivých cyklech jsou uvedené v následující tabulce **Tab. 22**.

Cyklus	nátěrový systém	stupeň puchýřkování	prorezivění	delaminace/koroze	stupeň puchýřkování v okolí řezu
0C	Tikkurila	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)
	Nornastic	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)
	Belzona	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)
1C	Tikkurila	0 (S0)	Ri0 (0)	0/1	0 (S0)
	Nornastic	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)
	Belzona	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)
2C	Tikkurila	0 (S0)	Ri0 (0)	0/1	0 (S0)
	Nornastic	0 (S0)	Ri0 (0)	0/1	0 (S0)
	Belzona	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)
3C	Tikkurila	0 (S0)	Ri0 (0)	0/1	2 (S4)
	Nornastic	0 (S0)	Ri0 (0)	0/1	0 (S0)
	Belzona	0 (S0)	Ri0 (0)	0/0	0 (S0)

**Tab. 22** Výsledky zrychlené ponorové zkoušky

Všechny testované nátěrové hmoty vykazaly výbornou odolnost při zrychlené ponorové zkoušce odolnosti nátěru. U vzorku Tikkurila se po prvním cyklu objevila koroze řezu stupně 1, která se u materiálu Normastic objevila po druhém cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru. Po třetím cyklu se u materiálu Tikkurila objevil stupeň puchýřkování v okolí řezu 2 (S4).

Fotky jednotlivých vzorků v jednotlivých cyklech jsou v přílohách:

Příloha č. 1 Vzorky před prvním cyklem zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru

Příloha č. 2 Vzorky po prvním cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru

Příloha č. 3 Vzorky po druhém cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru

Příloha č. 4 Vzorky po třetím cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru

## **Závěr**

V teoretické části jsem studiem problematiky povrchových úprav do exponovaného prostředí nepřetržitého dlouhodobého provozu turbin získal řadu nových znalostí a informací.

Provádění experimentálních prací při zpracování bakalářské práce mi pomohlo získat praktické znalosti a zkušenosti s nátěrovými systémy. Zejména s přípravou povrchu pro aplikaci nátěru, vlastním nanášením štětcem. V průběhu jednotlivých technologických procesů jsem vyhodnocoval důležité údaje z průběhu aplikace. V experimentální části jsem si dále ověřil skutečné vlastnosti a kvality jednotlivých nátěrových systémů, které se používají při povrchových úpravách vodních turbín u malých vodních elektráren.

Ze zkoumaných a testovaných nátěrových materiálů nejlepší výsledky prokázal speciální přípravek Belzona 1341, který je určen k aplikaci v hydraulických systémech, kde má nezastupitelnou roli v těch nejvíce exponovaných místech, které nebyly vyrobeny ze speciálních odolných ocelí s obsahem chromu. Na ochranu povrchu vodní turbíny mimo samotnou komoru oběžného kola jsou vhodné další dva testované systémy Temacoat a Normatic 405, které prokázaly solidní výsledky v experimentální části a zabezpečí spolehlivou antikorozi ochranu turbínového zařízení.

## Literatura

- [1] Mastný, P., „Ústavu elektroenergetiky,“ 2006. [Online]. Available: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/skripta/voda.pdf>. [Přístup získán 14. 05. 2012].
- [2] Gabriel, P; Číhák, F; Kalandra, P, *Malé vodní elektrárny*, Praha: ČVUT Praha, 1998, p. 321.
- [3] Šindelářová, I. Kobza, M., *Tepny krajiny*, Olomouc: Václav Lukeš, nakladatelství poznání, 2007, p. 259.
- [4] NECHLEBA, M., *Vodní Turbíny: Jejich konstrukce a příslušenství*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1962, p. 672.
- [5] BEDNÁŘ, J, *Malé vodní elektrárny 2 Turbíny*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1989, p. 237.
- [6] Pažout, F., *Malé vodní elektrárny 1 Ekonomika - předpisy*, 2. vydání, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990.
- [7] Musil, P., *Globální energetický problém a hospodářská politika se zaměřením na obnovitelné zdroje*, Praha, 2009.
- [8] „Výzkum kavitace II,“ v *Sborník přednášek*, Praha: ČSVTS, 1978.
- [9] „Cavitation Propeller Damage,“ 05 05 2012. [Online]. Available: [http://2.bp.blogspot.com/-dKtfXRN6HOY/TZ-vtVgvhdI/AAAAAAAAAiU/kKfD4M-PeZA/s1600/800px-Cavitation\\_Propeller\\_Damage.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-dKtfXRN6HOY/TZ-vtVgvhdI/AAAAAAAAAiU/kKfD4M-PeZA/s1600/800px-Cavitation_Propeller_Damage.jpg). [Přístup získán 05 05 2012].
- [10] NOSKIEVIČ, J. et al., *Kavitace v hydraulických strojích a zařízeních*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990, p. 333.
- [11] Bednář, J., *Měření tekutinových systémů*; skripta VUT Brno, Brno: VUT Brno, 1982.
- [12] MOHYLA, M., *Technologie povrchových úprav kovů*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006, p. 156.
- [13] KALEDOVÁ, A, *Studium korozně - inhibiční účinnosti nátěrových systémů pro povrchovou úpravu ocelových konstrukcí*, Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2000. Teze habilitační práce, VŠB - TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie.

- [14] ČSN EN ISO 12 944 - 2. *Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*, Praha: Český normalizační institut, 1998, p. 16.
- [15] KUBÁTOVÁ, H. a kol., *Nátěry kovů*. 1. vydání, Praha: Grada Publishing, spol. s.r.o., 2000, p. 101.
- [16] ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu, sv. Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*, Praha: Český normalizační institut, 2007, p. 16.
- [17] PODJUKOVÁ, J, *Speciální technologie povrchových úprav I. Učební texty*, VŠB – TU Ostrava, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1994, p. 71.
- [18] „*Mobilní tlakové tryskací jednotky*,“ Spolmont, 05 05 2012. [Online]. Available: [http://www.spolmont.cz/sortiment/tlakovzduzne-tryskaci-zarizeni\\_cz.html](http://www.spolmont.cz/sortiment/tlakovzduzne-tryskaci-zarizeni_cz.html). [Přístup získán 05 05 2012].
- [19] ČSN ISO 8502-3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu, sv. Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepicí páskou)*, Praha: Český normalizační institut, 1996, p. 12.
- [20] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*, Praha: Český normalizační institut, 2007, p. 40.
- [21] ČSN EN ISO 16276-1. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 1: Odtrhová zkouška*, Praha: Český normalizační institut, 2008, p. 16.
- [22] ČSN EN ISO 16276-2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze(odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*, Praha: Český normalizační institut, 2008, p. 16.
- [23] ČSN 67 3087. *Laboratorní zkoušky ochranné účinnosti nátěrů na kovech. Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování (postup podle Machua Schiffmana)*, Praha: Český normalizační institut, 1981, p. 5.

- [24] ČSN EN ISO 4628 - 2 *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování.*, Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [25] ČSN EN ISO. *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění.*, Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [26] ČSN EN ISO 4628-8. *Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu.*, Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [27] Arcelormittal, „*Ploché výrobky válcované za tepla*,“ 05 05 2012. [Online]. Available: [http://www.arcelormittal.com/ostrava/pdf/AM\\_katalog-ploche-cz.pdf](http://www.arcelormittal.com/ostrava/pdf/AM_katalog-ploche-cz.pdf). [Přístup získán 05 05 2012].
- [28] Vávra, P., *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [29] „Tikkurila,“ 05 12 2012. [Online]. Available: [http://www.tikkurila.cz/pdfexport/prumyslove\\_natery/kovove\\_povrchy/kovove\\_povrchy/temacoat\\_gpl-s\\_primer.2555.shtml.pdf](http://www.tikkurila.cz/pdfexport/prumyslove_natery/kovove_povrchy/kovove_povrchy/temacoat_gpl-s_primer.2555.shtml.pdf). [Přístup získán 05 05 2012].
- [30] Tikkurila, „*Temacoat RM 40*,“ 05 05 2012. [Online]. Available: [http://www.tikkurila.cz/pdfexport/prumyslove\\_natery/kovove\\_povrchy/kovove\\_povrchy/temacoat\\_rm\\_40.2555.shtml.pdf](http://www.tikkurila.cz/pdfexport/prumyslove_natery/kovove_povrchy/kovove_povrchy/temacoat_rm_40.2555.shtml.pdf). [Přístup získán 05 05 2012].
- [31] Jotun, „*Normastic 405*,“ 05 05 2012. [Online]. Available: [www.atryx.cz/naterove-hmoty/technicke-listy/normastic\\_405.pdf](http://www.atryx.cz/naterove-hmoty/technicke-listy/normastic_405.pdf). [Přístup získán 05 05 2012].
- [32] Belzona, „*Product data Belzona 1341*,“ 05 05 2012. [Online]. Available: [http://www.belzona.com/assets/data/product\\_information/pfs/UK/1341.pdf](http://www.belzona.com/assets/data/product_information/pfs/UK/1341.pdf). [Přístup získán 05 05 2012].
- [33] F. s. E. ú. O. f. i. V. K. Vysoké učení technické v Brně, „*TECHNICKÁ ZPRÁVA Vliv nátěru BELZONA 1341 na parametry*,“ 05 01 2012. [Online]. Available: [www.belzona.cz/doc/Zprava\\_VUT\\_Belzona\\_1341.doc](http://www.belzona.cz/doc/Zprava_VUT_Belzona_1341.doc). [Přístup získán 05 01 2012].

## Seznam obrázků

Obr. 0-1	Komora oběžného kola turbíny po nátěru a po ročním provozu	10
Obr. 1-1	Železnorudné mlýny [3]	13
Obr. 1-2	Montáž peltonovy turbíny nové alpské MVE v Rakousku	14
Obr. 1-3	Oběžné kolo poškozené kavitací [9]	15
Obr. 1-4	Kontury rychlosti vody v komoře oběžného kola přímoproudé Kaplanovy turbíny simulované v programu Fluent	17
Obr. 2-1	Koroze oběžného kola Kaplanovy vodní turbíny z roku 1943	18
Obr. 4-1	Mobilní tryskáč jednotka Spolmont [18]	23
Obr. 6-1	Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle označení 1, 2, 3, 4 a 5 [19]	26
Obr. 6-2	Příklad měřicího hřebenu [20]	27
Obr. 6-3	Tloušťkoměr Elcometer 456 a měřicí sonda	28
Obr. 6-4	zkušební váleček a ořezaný nátěr po obvodu	28
Obr. 6-5	Odrhový přístroj ELCOMETR F 106/4	29
Obr. 7-1	Kaplanova přímoproudá turbína natřená barvou Temacoat RM 40	33
Obr. 7-2	Rozváděcí kolo Kaplanovy turbíny natřené barvou Normastic 405	34
Obr. 7-3	Oběžné kolo vodní turbíny ošetřené barvou Belzona 1341	35
Obr. 7-4	Zlepšení charakteristiky hydraulického stroje po aplikaci nátěru Belzona 1341 [32]	35
Obr. 8-1	povrch plechu připravený k aplikaci nátěru a jeho zvětšený detail	36
Obr. 8-2	Drsnoměr, Surfes SJ 301, detail při měření na měřicí část	38
Obr. 8-3	Průběh drsnosti podkladu	39



## Seznam tabulek

Tab. 1 MVE podle dosažitelného výkonu [2]	12
Tab. 2 MVE podle velikosti spádu [1]	12
Tab. 3 Třídy velikosti prachových částic [19]	25
Tab. 4 Obsah prvků u ocelového plechu 11 523 v hm. % [27]	31
Tab. 5 Doporučená tloušťka nátěrového filmu TEMACOAT GPL-S PRIMER	32
Tab. 6 vlastnosti TEMACOAT GPL-S PRIMER [28]	32
Tab. 7 Doporučená tloušťka nátěrového filmu TEMACOAT RM 40 [31]	32
Tab. 8 Technické vlastnosti TEMACOAT RM 40 [31]	33
Tab. 9 Doporučená tloušťka nátěrového filmu [31]	33
Tab. 10 Technické vlastnosti Normastic 405	34
Tab. 11 Vyhodnocení čistoty povrchu dle ČSN ISO 8502-3	37
Tab. 12 Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo Surf test SJ-301	37
Tab. 13 Naměřené parametry drsnosti	38
Tab. 14 Doporučené tloušťky vrstev nátěrové hmoty	40
Tab. 15 Naměřené hodnoty tloušťky suché vrstvy nátěru DFT v $\mu\text{m}$	41
Tab. 16 Výsledek odtrhové zkoušky Temacoat bez máčení	42
Tab. 17 Výsledek odtrhové zkoušky Normastic bez máčení	43
Tab. 18 Výsledek odtrhové zkoušky Belzona bez máčení	43
Tab. 19 Výsledky po zrychlené zkoušce u Tikurila Temacoat	43
Tab. 20 Výsledky po zrychlené zkoušce u Normastic 405	44
Tab. 21 Výsledky po zrychlené zkoušce u Belzona 1341	44
Tab. 22 Výsledky zrychlené ponorové zkoušky	45

## Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Tomáši Laníkovi za odbornou pomoc, konzultaci, cenné rady při experimentálních pracích a trpělivost při vytváření této bakalářské práce. Dále děkuji Doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za cenné informace, odbornou pomoc, konzultaci při vytváření této bakalářské práce.



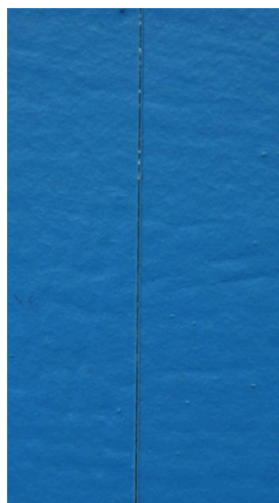
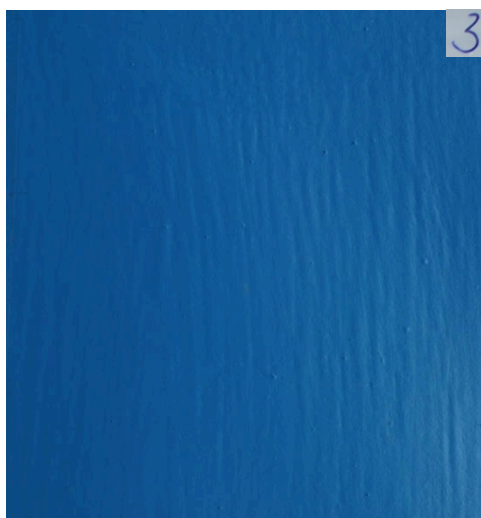
V Ostravě 20. května 2012

Ing Bronislav Suchý

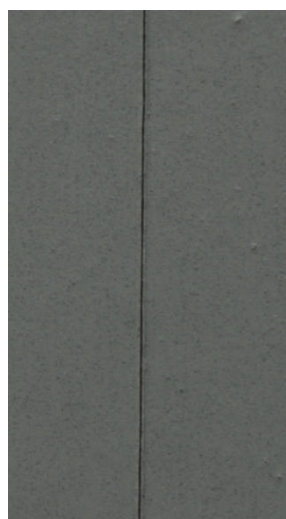
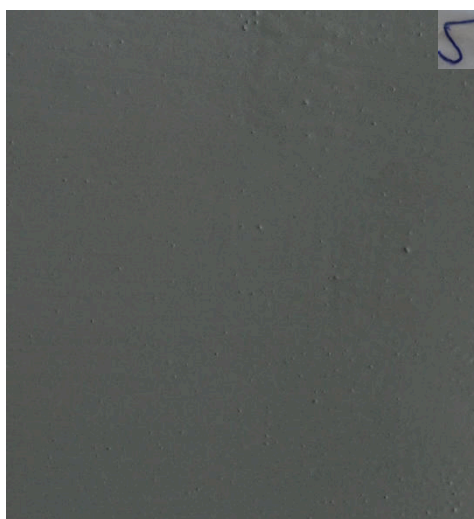
## Seznam příloh

Příloha č. 1 Vzorky před prvním cyklem zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru	55
Příloha č. 2 Vzorky po prvním cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru	56
Příloha č. 3 Vzorky po druhém cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru	57
Příloha č. 4 Vzorky po třetím cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru	58

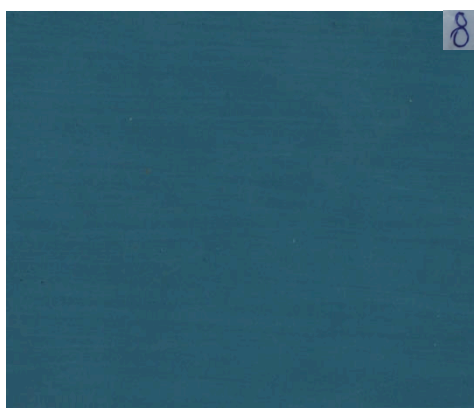
**Příloha č. 1 Vzorky před prvním cyklem zrychlené ponorové zkoušky odolnosti  
nátěru**



*Nátěr Tikkurila Temacoat*



*Nátěr Normastic 405*

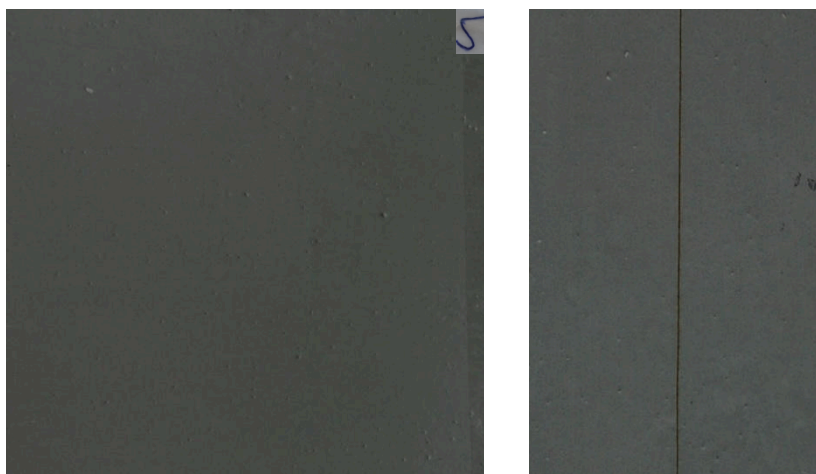


*Nátěr Belzona 1341*

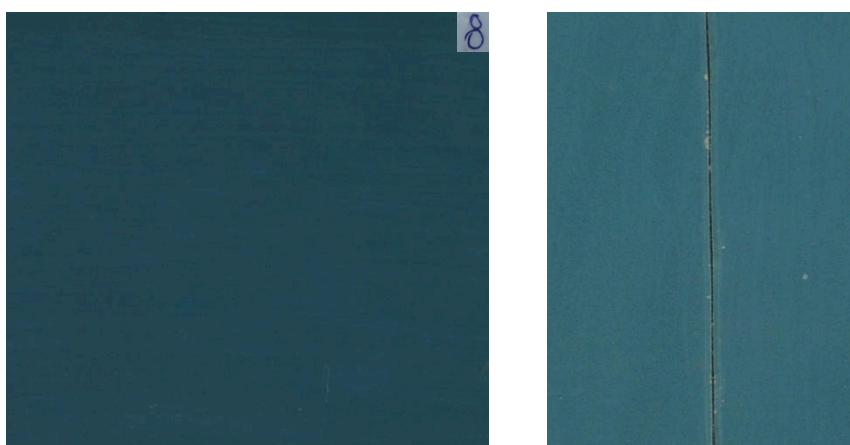
**Příloha č. 2 Vzorky po prvním cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru**



*Nátěr Tikkurila Temacoat*

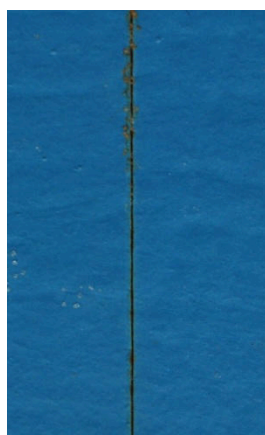


*Nátěr Normastic 405*



*Nátěr Belzona 1341*

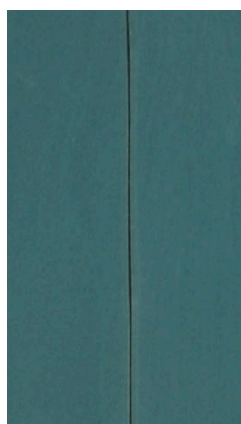
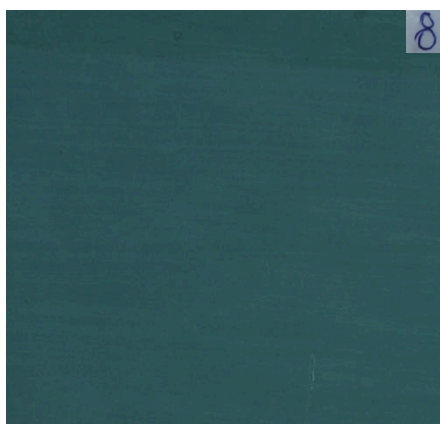
**Příloha č. 3 Vzorky po druhém cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru**



*Nátěr Tikkurila Temacoat*

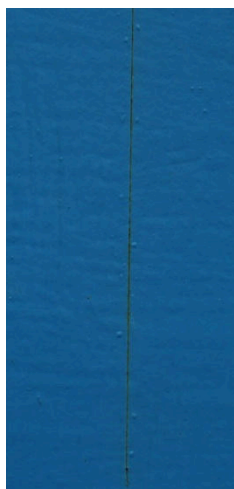
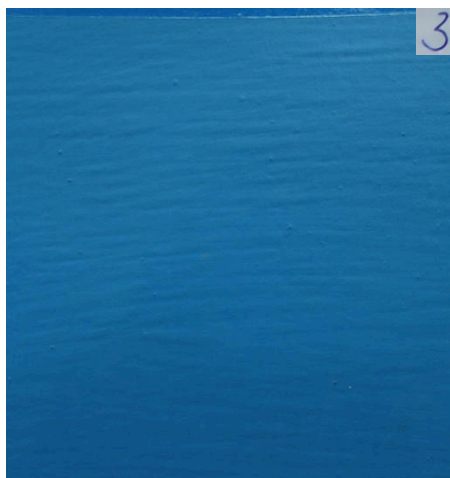


*Nátěr Normastic 405*

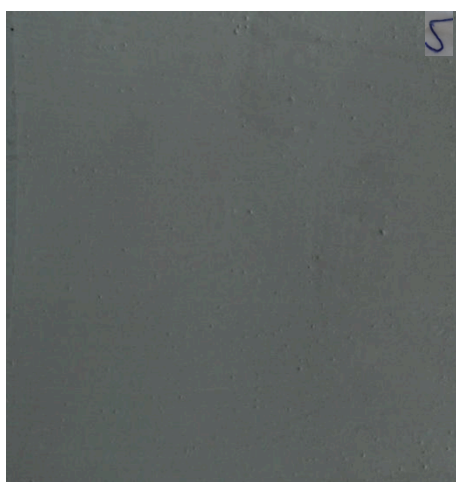


*Nátěr Belzona 1341*

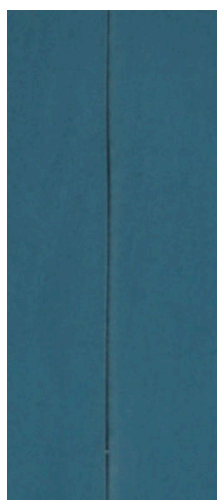
**Příloha č. 4 Vzorky po třetím cyklu zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěru**



*Nátěr Tikkurila Temacoat*



*Nátěr Normastic 405*



*Nátěr Belzona 1341*